

**GANANCIA EN CALIDAD NUTRIMENTAL DEL GRANO COMO
RESPUESTA ASOCIADA A LA SELECCIÓN PARA POLIEMBRIÓN EN
MAÍZ**

EPIFANIA LIZBETH VALDEZ LARA

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el grado de:

MAESTRIA EN CIENCIAS

FITOMEJORAMIENTO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio 2005

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

**GANANCIA EN CALIDAD NUTRIMENTAL DEL GRANO COMO
RESPUESTA ASOCIADA A LA SELECCIÓN PARA POLIEMBRIONÍA EN
MAÍZ**

TESIS POR

EPIFANIA LIZBETH VALDEZ LARA

**Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada como
requisito parcial para optar al grado de:**

**MAESTRIA EN CIENCIAS
FITOMEJORAMIENTO**

COMITÉ PARTICULAR

Asesor principal

Dr. José Espinoza Velázquez

Asesor:

Dr. Humberto de León Castillo

Asesor:

Dra. María de la Luz Reyes Vega

Asesor:

M. C. Antonio Francisco Aguilera Carbo

Asesor:

M. C. Aída Esmeralda García Valdez

**Dr. Jerónimo Landeros Flores
Subdirector de Posgrado**

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por haberme permitido realizar mis estudios de maestría, a todos los maestros que forman parte del programa de fitomejoramiento, por haberme transmitido parte de sus conocimientos.

Al Dr. José Espinoza Velázquez por su asesoramiento para la realización de esta tesis, por su confianza, apoyo, sus enseñanzas y su amistad.

A la Dra. María de la Luz por su asesoramiento en la determinación de parámetros Físico-Químicos.

Al Dr. Humberto de León por su gran disponibilidad e interés en su valioso asesoramiento principalmente en la parte de resultados.

Al M. C. Antonio Aguilera Carbó por sus enseñanzas, por transmitirme parte de su experiencia en el laboratorio, su dedicación, tiempo, paciencia y amistad.

Al la L. C. Q. Laura Olivia Fuentes Lara por permitirme trabajar en el laboratorio de nutrición y alimentos de la UAAAN y por su valioso asesoramiento en la realización de análisis bromatológicos.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada por darme la oportunidad de realizar parte de la tesis en sus instalaciones. Así como también al Dr. Ramiro Guerrero Santos por hacerse responsable de mi ingreso en dicho centro.

A la M. C. Aída García Valdez por su asesoramiento en aspectos químicos de laboratorio, por su dedicación, tiempo y amistad.

Al Dr. Luis Ernesto Elizalde Herrera, por sus valiosos conocimientos aportados en la utilización del cromatógrafo de gases.

Al L. C. Q. Javier Borja Ramos y al L. C. Q. Luis Enrique Reyes por su apoyo en el desarrollo de la técnica analítica para la determinación de aminoácidos.

A la Dra. Anna Iliná por su gran asesoramiento para la realización de técnicas de cuantificación de ácidos grasos y aminoácidos.

DEDICATORIA

Gracias a Dios que por su infinita misericordia,
ha sido una luz en mi camino que ha guiado mis pasos

A mis padres, hermanos Álvaro, Adrián y Emmanuel
y mi cuñada Susana por su amistad, apoyo
y por creer en mí

A Daniel Sámano Garduño por todo su amor,
apoyo, paciencia y comprensión.

COMPENDIO

Ganancia en Calidad Nutricional del Grano como Respuesta Asociada a la Selección para Poliembrionía en Maíz

POR

EPIFANIA LIZBETH VALDEZ LARA

**MAESTRIA EN CIENCIAS
FITOMEJORAMIENTO**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARI ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, JUNIO 2005**

DR. José Espinoza Velásquez---Asesor---

Palabras clave: Zea mays L., aminoácidos, ácidos grasos, poliembrionía.

El maíz es de gran importancia para la alimentación humana y animal. Cuando la semilla de maíz presente más de un embrión, se tiene el fenómeno poliembrionía (PE), que en cierto grado, influye en la composición química del grano ya que en el embrión se concentra el aceite y proteína embrionaria; para ello, el endospermo debe

tener la capacidad de nutrir a más embriones, los que en su oportunidad generarán plantas adultas.

Tomando en cuenta lo anterior, y contando con poblaciones sometidas a selección en el tema de la PE, este trabajo se realizó con los siguientes objetivos: 1) Cuantificar químicamente en grano completo de maíz los contenidos de grasa y proteína cruda, los ácidos grasos oleico y linoleico y los aminoácidos lisina y triptofano en poblaciones de maíz poliembriónico y sus controles, que son poblaciones derivadas a partir de éstas pero con un proceso reverso de selección; 2) Determinar las propiedades físico-químicas del grano de maíz en las poblaciones bajo estudio; 3) Cuantificar la ganancia por selección indirecta para contenido de ácidos grasos y aminoácidos en grano, considerando la asociación con la selección para frecuencias de poliembriónía en las poblaciones de interés.

El material de estudio fueron cinco generaciones de selección recurrente de familias de medio hermanos para grasa cruda (GC) y ácidos grasos oleico (OL) y la relación oleico/linoleico (OL/LN); y cuatro generaciones para proteína cruda (PC), y los aminoácidos lisina (LI) y triptofano (TR). Estas generaciones corresponden a cuatro poblaciones de maíz, una de ellas conformada por plantas de porte normal (NAP), otra por braquíticas (BAP). Las otras dos poblaciones, también de porte normal y enano, se han seleccionado en contra de la PE (NBP y BBP, respectivamente); los testigos utilizados son de dos tipos, unos como referencia superior para contenidos de grasa (tipo HOC: High Oil Corn) y de aminoácidos esenciales (tipo QPM: Quality Protein Maize), y otros como referencia del maíz común, que fueron: un maíz Criollo del sur de Saltillo y la variedad Antonio Narro VAN-210, en uso por agricultores temporaleros de la Región Ixtlera del Norte de México.

Las generaciones de selección en cada población fueron analizadas bajo un diseño completamente al azar, tres repeticiones, aplicando el análisis de varianza correspondiente. Se realizó también un análisis con datos de la generación 2000, donde se compararon las cuatro poblaciones PE y sus testigos. La estimación de la ganancia o pérdida por ciclo de selección se llevó a cabo a través de análisis de regresión lineal simple. Los casos donde los tratamientos resultaron significativos, se aplicó la prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$). Por último se describen la caracterización físico-química de los granos para la población PE de la generación 2000.

En cada población, las generaciones con los testigos, mostraron diferencias ($P < 0.01$) en todas las variables en estudio. **Para aceite:** el HOC presentó superioridad sobre los demás tratamientos; sin embargo, NAP y BAP presentaron un ascenso de GC, OL y OL/LN, la primera con valores de 36%, 45% y 8%, y BAP con: 47% 81% y 5%, respectivamente.

Para NBP, la disminución de GC fue de 25%, de OL en 11% y la relación OL/LN en 5%. En el caso de BBP, la reducción fue de 22% para GC, 12% para OL y 5% para la relación entre OL y LN.

En cuanto a calidad proteica: La población QMP, presentó superioridad en cuanto a la calidad proteica, pero el contenido de PC fue mejor en algunos casos de las poblaciones PE, y rotundo el hecho de que el Criollo regional presentó en nivel más bajo en esta variable. Los análisis en los casos de LI y TR sólo utilizaron datos de dos generaciones (1994 y 2000), siendo NAP- 2000 superior a su población de partida, NAP-1994 en 41.82% y 32.36% respectivamente. La lisina en BAP-2004 resultó igual

al testigo mayor, ya que fue superada por el QPM solamente en 6% que es una diferencia no significativa.

Para los análisis de regresión en la población NAP, la variable PC resultó NS, mientras que para LI y TR no se contó con datos suficientes; por otra parte, la variable GC, con una probabilidad de 93%, mostró una ganancia de 0.37% por generación, y OL, con una probabilidad de 97%, obtuvo una ganancia de promedio de 3% por generación. La relación OL/LN con una probabilidad de 91% se obtuvo sólo un incremento por generación de (0.02%). En la población BAP, OL con 92% de probabilidad, aumentó 6.22% por generación; y LI presentó una ganancia por generación de 1.095 g, mientras que TR mostró una ganancia de 0.1 g, datos muy relevantes ya que su nivel de LI al último ciclo de selección es igual al testigo QPM.

En NBP se observó una relación lineal negativa al 93% de probabilidad con un decremento de 0.585% por generación; los análisis de regresión para OL y OL/LN resultaron NS, aunque se requerirán más datos para verificar la tendencia decreciente en el contenido de estas semillas. La población BBP presentó significancia estadística sólo en la variable OL, con una probabilidad de 94%, documenta una disminución de 0.525% por generación.

Con la finalidad de detectar diferencias entre los grupos PE se realizó el análisis de varianza correspondiente a la generación 2000 para las variables GC y LI; donde se presentaron diferencias ($P < 0.01$), detectándose la separación de los grupos hacia más y menos PE, coincidente con la situación de más y menos calidad nutricional, respectivamente.

Dentro de los Parámetro Físico-Químicos se evaluó el color del grano obteniendo tonalidades diferentes para el blanco; en cuanto a las dimensiones del grano: largo,

ancho y espesor (mm), los materiales de interés PE al presentar un mayor tamaño de grano. Para peso de mil granos, también los materiales PE presentaron un mayor peso; las poblaciones de porte normal se clasificaron como muy duro con un tiempo de cocción de 45 minutos mientras que los braquítricos quedaron en la categoría de duros, con un tiempo de cocción de 40 minutos. Los testigos HOC y QPM presentaron la temperatura más alta de gelatinización, mientras que los materiales de interés poliembriónico galetinizaron a los 70° C.

ABSTRACT

**Increase in Grain Nutritional Quality as an Associated Response to selection for
polyembryony in maize**

BY

EPIFANIA LIZBETH VALDEZ LARA

MASTER IN SCIENCE

PLANT BREEDING

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, June 2005

DR. José Espinoza Velázquez – advisor-

Key words: *Zea mays* L., aminoacids, lipids, polyembryony.

Maize is a cereal of great importance in human and livestock nutrition. Polyembryony in corn (PE) is a phenomenon influencing the presence of poly-embryos per individual seeds, and could be related with the chemical composition and quality of the grain given that the higher concentration of oils and embryony protein is located in

embryos; it also means that the endosperm should be capable to nourish more embryos than in normal cases, which in turn became seedlings and then adult plants.

Based on the previous argument, and counting with maize populations which had been selected for high PE frequency , this research had the following objectives: 1) To quantify chemically the of crude protein and fat, oleic and linoleic acids, and the amino acids lysine and tryptophan in the whole grain; 2) To determine the physic-chemical properties of grains; and 3) To get a measure of the associated gain in grain quality to the selection process for high PE frequency in experimental populations.

The genotypes used in this work were four experimental populations related to PE and four non-PE varieties which served as checks to the formers; the populations are the so named NAP (normal height, high PE); BAP (dwarf and high PE) and their counterparts, derived accordingly from them by reverse selection against PE, the ones named NBP (normal height, low PE) and BBP (dwarf, low PE). The checks are samples from Tuxpeño HOC (high oil corn, maíz alto en aceite) and a QPM (quality protein maize, maíz de calidad proteica), populations from CIMMYT; the two others are: one commercial improved variety named VAN-210, adapted to the Ixtlera region, Northeast of Mexico, and a landrace in use for farmers in locations to the south-southeast of Saltillo, state of Coahuila, both are properly exploited under rain fed corn production. Samples from five selection cycles (1994; 1997; 2000; 2003; 2004) in the PE populations were used to monitor the grain contents of crude fat (GC), and the acids oleic (OL), linoleic (LN) and its relationship (OL/LN); however, only four selection

cycles (1994; 1997; 2000; 2003) were observed for grain contents of crude protein (PC), and the amino acids lysine (LI) and tryptophan (TR).

The data in each population was generated by applying a complete random design, three replications, and analyzed correspondingly through a proper analysis of variance; selection cycles were the source of variation in each case. Simple regression analysis were made in estimating the associated selection gain (or lost) in grain quality per cycle. On the other hand, data from the cycle 2000 was used to compare differences among PE populations. Whenever a significant F test was observed from the analysis of variance, a Tukey ($\alpha = 0.05$) test was applied. Finally, it is described the physico-chemicals properties of the grains in checks and the experimental PE populations, samples from cycle 2000.

Statistical differences ($P < 0.01$) were detected in practically all the response variables in each populations analysis. In the case of **lipids**, the CIMMYT-HOC population showed the highest value but populations NAP and BAP presented an increase cycle-wise for traits GC, OL and OL/LN, in per cent terms, as follows: 36, 45, and 8 for the former, and 47, 81, and 5 for the last. To the contrary, populations NBP and BBP, the low PE groups, showed a decrease in the contains of such variables, in percentages as follows: 25, 11, and 5 for the normal, and 22, 12 and 5 for the dwarf.

Related to **protein quality**: in general, the QPM population was superior to others in lysine and tryptophan grain content, but PE populations shown a better content

of crude protein in some cycles; undoubtedly, the landrace was the lowest quality genotype. Lysine and tryptophan were determined in samples from only two cycles (1994 and 2000) for both NAP and BAP populations; the amino acids levels were superior in the advanced selection cycle in percentage higher than 30; even more, lysine content in grain samples of BAP in the 2004 cycle was statistically the same as the one in QPM.

The regression analysis for the NAP cycles showed a gain of 0.37 per cent in the GC variable ($P = 0.93$); for OL the gain was of 3.0 per cent ($P = 0.97$); and an very light increase (0.02 per cent, $P = 0.91$) in the variable OL/LN; on the other hand, there were no sufficient data available in NAP for amino acids content analysis; however, the indirect selection effects on lipids was all positive. Results in the BAP population indicated, also a positive and significant increase in lipids grain content, as well as amino acids content, equaling lysine levels with QPM check in the last selection cycle (2004).

The NBP and BBP populations, in a reverse fashion compared to NAP and BAP, showed a significant decrease in the lipids variables along selection cycles. This may be an evidence check that selecting for high PE frequency redounds in an increase in grain quality.

In order to compare the different PE genotypes characteristics on GC and LI, an analysis of variance was undertaken with data from the cycle 2000; the results indicated

a clear cut separation among the high PE populations versus the low PE, being the former the highest quality genotypes ($P = 0.01$).

The physic-chemical grain parameters analyzed here were the ones about colors, length, width, depth, weight of 1000 seeds, hardness, and time of starch gelatinizing. Results showed that the PE populations have a range of white color; they have the higher values about grain weight than checks ($P < 0.01$); the hardness is highest in PE genotypes (40 to 45 minutes to cook); and a gelatinizing of 70 °C was the value for the PE populations meanwhile genotypes HOC and QPM required a higher temperature ($P < 0.01$).

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	Pág. xvii
ÍNDICE DE FIGURAS	xviii
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	3
Hipótesis	
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
Poliembrionía	4
Selección Recíproca Recurrente	10
Selección Recurrente de FMH	12
Aceite y Proteína en el Grano de Maíz	14
Parámetros Físico-Químicos del Maíz	21
III. MATERIALES Y MÉTODOS	26
Procedimiento Experimental	27
Material Genético	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
V. CONCLUSIONES	777
VI. RESUMEN	78
VI. LITERATURA CITADA	84
VII. APÉNDICE	91

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
2.1	Clasificación de granos de maíz por dureza y tiempo de cocción	25
3.1	Fuente de muestras de semillas de maíz PE para estudio	34
4.1	Cuadrados medios para las variables GC, OL y OL/LN, de la población NAP en cinco generaciones y sus testigos	40
4.2	Cuadrados medios para las variables PC, cinco generaciones, y LI y TR, dos generaciones, población NAP	43
4.3	Cuadrados medios para las variables GC, OL y OL/LN, de la población BAP en cinco generaciones y sus testigos	45
4.4	Cuadrados medios para las variables PC, cinco generaciones, y LI y TR, dos generaciones, población BAP	47
4.5	Cuadrados medios para las variables GC, OL y OL/LN, de la población NBP en tres generaciones y sus testigos	50
4.6	Cuadrados medios para las variables GC, OL y OL/LN, de la población BBP en tres generaciones y sus testigos	53
4.7	Cuadrados medios para las variables PC, cinco generaciones, y LI y TR, dos generaciones, población BBP	54
4.8	Análisis de varianza de la población NAP, BAP, NBP y BBP de la generación 2000	65
4.9	Comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$)	66
4.10	Clasificación de los ocho genotipos de maíz, de acuerdo a su dureza y tiempo de cocción	72
A1	Comparación de medias por Tukey ($\alpha=0.05$) por población a través de diferentes generaciones de selección, para las variables GC, OL y OL/L.	91
A2	Comparación de medias por Tukey ($\alpha=0.05$) por población a través de generaciones de selección, para las variables PC, LI y TR.	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
4.1	Respuesta a la selección del por ciento de grasa cruda para la población NAP para cinco generaciones de selección	57
4.2	Respuesta a la selección del por ciento del ácido graso oleico para la población NAP para cinco generaciones de selección	58
4.3	Respuesta a la selección del por ciento de la relación oleico:linoleico, para la población NAP para cinco generaciones de selección	59
4.4	Respuesta a la selección del por ciento del ácido graso oleico para la población BAP para cinco generaciones de selección	60
4.5	Respuesta de LI a la selección para alta PE, población BAP, cuatro generaciones de selección	61
4.6	Respuesta de TR a la selección para alta PE, población BAP, cuatro generaciones de selección	61
4.7	Respuesta de GC a la selección para alta PE, población NBP, tres generaciones de selección	63
4.8	Respuesta de GC a la selección para alta PE, población BBP, cuatro generaciones de selección	64
4.9	Respuesta de GC a la selección para alta PE, población BBP, cuatro generaciones de selección	68
4.10	Distribución de los ocho tipos de maíces de acuerdo al color de grano	69
4.11	Dimensiones del grano de maíz de los ocho genotipos evaluados	70
4.12	Peso de mil granos de los ocho genotipos de maíz	71
4.13	Índice de flotación de los ocho genotipos de maíz bajo estudio	72
4.14	Dureza de los ocho genotipos de maíz y comparación de medias	73
4.15	Termogramas de almidón de los genotipos de maíz obtenidos por DSC	75
4.16	Gráfica de viscosidad y retrogradación del almidón de los ocho genotipos	76

I. INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cultivos de mayor importancia económica y alimenticia en el mundo; también se le considera un modelo de estudio en genética y disciplinas afines. Sus cualidades vegetativas y reproductivas, anual y alógama, así como su gran plasticidad y ubicuidad, lo sitúan como especie ideal para estudiar aspectos poblacionales, fisiológicos, bioquímicos, evolutivos, alimenticios, procesos industriales, etc. Estas cualidades se complementan con una disponibilidad amplia de variedades para siembra, de manejo agrícola relativamente fácil y económico.

Una característica especial del maíz es la poliembrionía (PE), la cual se refiere, en lo general, a la formación de varios embriones por semilla que pudieran desarrollarse en plantas completas, incluyendo mazorcas. Previsiblemente, la PE tiene potencial como carácter productivo; por un lado, el que una semilla de maíz contenga dos ó más embriones es un fenómeno de gran importancia ya que en el germen se concentran la mayor parte de aceites y la proteína de calidad, confiriendo al grano mayor calidad nutrimental; y por la otra, la posibilidad de incrementar producción de materia seca por semilla y por unidad de superficie.

El Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” (IMM) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) ha venido estudiando la

característica PE desde su manifestación en el compuesto selección súper enana 301-SSE, el cual exhibió una frecuencia inicial menor a 2 %, hasta constituir poblaciones PE de porte normal y enanas, cuyas frecuencias actuales se ubican en promedio de 55 a 60%; la manifestación PE más frecuente es de dos plantas por semilla; sin embargo, la selección continúa ha redituado casos de tres ó más plántulas en proporciones de 15 a 20% dentro del conjunto de plantas PE.

La condición PE o semilla prolífica presenta cualidades aprovechables en la constitución de nuevas variedades de maíz que conjuguen mejoría en rendimiento y calidad nutrimental. La poliembrionía de dos o más embriones no gemelares, de origen diverso, y por lo tanto separados físicamente dentro de la semilla, presenta la posibilidad de más aceite, ya que alrededor de 85% de los lípidos del maíz están en el germen, fuente del aceite comercial de maíz. El aceite refinado de maíz contiene principalmente triglicéridos y ácidos grasos, saturados e insaturados. En éstos, se encuentran los ácidos linoleico (58%), oleico (27%), linolénico (0.8%) y araquidónico (0.2%); entre los saturados están principalmente el palmítico (12%) y el estéarico (2%).

El alto contenido de aceites insaturados del maíz lo ser hace un alimento valioso y fácil de digerir; las investigaciones sobre grasas saturadas y su influencia sobre el colesterol, colocan al aceite de maíz en posición dietética favorable; empleandose también en la alimentación de ganado por su alto valor energético. El ácido oleico es el de mayor valor biológico debido a que previene enfermedades cardiacas y disminuye la rancidez del aceite, lo cual facilita el almacenamiento y reduce la cantidad de conservadores.

Los humanos y animales mono-gástricos de importancia zootécnica no pueden sintetizar aminoácidos esenciales y los deben obtener de fuentes proteicas adecuadas. El valor biológico de la proteína de maíz común es limitante para ellos ya que posee bajos niveles de lisina y triptófano; éstos son el primero y segundo aminoácidos limitantes en humanos; la inversa ocurre en animales mono-gástricos.

El proyecto poliembrionía del IMM-UAAAN, busca en esta etapa establecer una correlación positiva de este fenómeno con la cantidad y calidad de grasa y proteína del grano incrementando los niveles de los ácidos grasos oleico y linoleico, así como de los aminoácidos lisina y triptofano bajo la **hipótesis** de que dos o más embriones por semilla permitirán incrementar la capacidad de almacenamiento de nutrientes de calidad; en esta interpretación, se supone que: 1) el maíz poliembriónico concentra más ácidos grasos oleico y linoleico, así como los aminoácidos triptófano y lisina que el maíz blanco común; y 2) los altos niveles de poliembrionía alcanzados por selección son correspondientes al monto de la calidad nutricional del grano de esos maíces.

En este contexto, los **objetivos** del presente trabajo son:

1. Cuantificar químicamente en grano completo de maíz los contenidos de ácidos grasos oleico y linoleico y los aminoácidos lisina y triptófano en poblaciones de maíz poliembriónico y sus controles.
2. Determinar las propiedades físico-químicas del grano de maíz en las poblaciones bajo estudio.
3. Cuantificar la ganancia por selección indirecta para contenido de ácidos grasos y aminoácidos en grano en asociación con la selección para frecuencias en poliembrionía

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Poliembronía (PE)

Varias especies angiospermas presentan el fenómeno PE, el cual consiste en la emergencia de varias plantas nacidas de manera simultánea a partir de una sola semilla; al respecto, Webber en 1940 publica un amplio ensayo, incluyendo casos de angiospermas y gimnospermas, describiendo sus causas, y relación con la agricultura.

Los tipos de PE que enuncia el autor son: a) Poliembrionía esporofítica, aquí los embriones se forman de las células de la nucela o del integumento, las cuales se dividen y se desarrollan dentro del saco embrionario, produciendo uno o varios embriones; para el desarrollo de los embriones esporofíticos es necesario el estímulo de la polinización y fertilización de la estructura reproductiva; b) Poliembrionía segmentada (cleavaje); este tipo de PE es resultado de la separación o división del cigoto o embrión joven en dos o más unidades, cada uno de los cuales se desarrolla en embriones por separado aunque físicamente cercanos. Los embriones segmentados son monocigóticos de origen, por lo que las plantas resultantes son idénticas.

De acuerdo con Webber (1940) otros tipos de PE son: c) Poliembrionía simple; en gimnospermas, la PE se debe a la formación de huevos múltiples a partir de una megaspora, quienes se unen con el núcleo generativo proveniente del polen. Aunque la

producción de más de un huevo u óvulo puede atribuirse a segmentación, es probable también que el caso de los embriones extras se deba a las sinérgidas, fecundadas por un núcleo generativo extra; d) Poliembrionía euploide; incluye a los embriones múltiples que dan lugar a plantas monoploides y euploides, reportado en varios géneros de plantas, mayormente en gramíneas; los casos más comunes en este tipo de PE son los pares diploide-diploide.

De interés también la tipificación de e) Poliembrionía Verdadera y falsa; para (Weeber, 1940), la producción de varios embriones dentro del saco embrionario se designa como ploiembrionía verdadera, mientras que la falsa poliembrionía es la producción de embriones derivados de varios sacos embrionarios; en este caso, los embriones se derivan de: 1) megasporocitos de diferente nucela; 2) dos o más megasporocitos, megasporas hermanas en la misma nucela y 3) el megasporocito normal y aposporio de la misma nucela.

La distinción entre verdadera y falsa poliembrionía es arbitraria; una distinción más natural o fisiológica sería lo más apropiado. En varios casos, la PE verdadera involucra apomixis.

Los tipos principales de PE en maíz, detectados a partir de un análisis histológico, está en función del origen de los embriones, su localización en el grano, diferencias en su estructura (tejidos comunes) y el tipo de germinación, Erdelska (1996). De acuerdo con este autor, la PE se origina de tres maneras: embriones pares que provienen de sacos embrionarios múltiples, se ubican en lados opuestos, o a distancia, en

el grano, los cuales carecen de tejidos comunes y germinan independientemente; casos de gemelos o triples que provienen de células huevo individuales del saco embrionario o de células con capacidades multi-huevo que están estrechamente adheridas, pero estrictamente separados por capas epidérmicas; con un endospermo en común; las plúmulas y radículas son independientes; y el caso de los poliembriones originados por multiplicación de la célula huevo (cleavaje), en vivo y de manera espontánea o después de alguna inducción, comparten un suspensor común, parte del escutelo y capas superficiales de radícula; por ello, los embriones germinan con plúmulas separadas pero un solo complejo radicular.

Otra causa de PE fue descrito por Hallauer y Miranda, (1981) y se refiere a una mutación recesiva designada “gametofito indeterminado” (*ig*) y afecta al saco embrionario de los homocigotes; algunos de los efectos de este gen son: esterilidad masculina, 50% de casos en plantas *igig*; plantas abortivas o defectuosas, 25% de plantas *Igig*; poliembriónía en 6% de semillas, endospermo normal, que recibieron el gen *ig* de madres *Igig* o *igig*; y monoploidía en el 3% de los casos de cruza con madres *igig*. De este modo, el gen *ig* también ocasiona la pérdida de las funciones normales en el desarrollo del gametofito femenino.

Con base a la literatura revisada el fenómeno PE en maíz se ha investigado desde los años treinta (Siglo XX) cuando se encontraron plantas dobles provenientes de semillas individuales, las cuales se denominaron como plantas gemelas, twins, (Randon,1936; y Skovested, 1939, citados por Pesev y Petrovic., 1976). Otro dato de interés lo presentan Morgan y Rappleye (1951), quienes informan de plantas múltiples

por semilla provenientes de cruzamientos de líneas puras con polen expuesto a varias dosis de irradiación con rayos X (600r, 2600r y 3720r); la PE observada aquí fue de 1.6%, 12.7%, y 18.1%, respectivamente. Los autores informan que la radiación no causó daño en número de cromosomas, observando siempre la dotación completa de 20 cromosomas.

Pesev *et al.*, (1976) informan de dos poblaciones de maíz que presentan el carácter PE en frecuencia inicial de 3.1%, observadas en el Instituto Yugoslavo del Maíz en los años 1963-1964, a partir de los cuales se desarrolló un programa de selección para el carácter y la formación de líneas endogámicas; los resultados en 10 años de trabajo se presenta a través de 12 líneas endogámicas, cuya frecuencia PE varió de 2.1% a 25.3%, con superioridad de estas semillas en contenidos de proteína y grasa cruda, así como lisina, al compararlos con el maíz común.

El estudio y manejo de plantas de maíz doble embrión o “gemelas”, (denominación vigente de 1973 a 1995), o poliembriónicas, denomina así de 1996 a la fecha, por que las hay de 2 y hasta 7 plántulas por semilla, ha sido una línea de investigación en el IMM-UAAAN. El objetivo inicial aquí fue generar poblaciones con alta frecuencia de PE. Castro (1973) reporta el carácter doble embrión encontrado en el compuesto 301-SSE (Selección Súper Enana) en frecuencia aproximada de 2%, formado por cruce de plantas de tallo cuadrado con una población segregante para br_2br_2 con 75% de germoplasma de la variedad Puebla grupo 1 y 25% de Tuxpeño braquítico.

Las plantas gemelas iniciales formaron la semilla base para integrar una población de maíz sobre la cual iniciar el estudio y la selección del carácter doble

embrión. Rodríguez y Castro (1978) informan la aplicación de métodos de selección y la determinación de la heredabilidad del carácter doble embrión. Formaron tres grupos sintéticos, dos de ellos con plantas gemelas y el tercero con no-gemelas, obteniendo por selección un aumento de 4.012% a 11.45% en los dos primeros, y de sólo 4.012% a 5.011% en el tercero.

Siguiendo avances en el tema, Castro (1979) señala que en el cuarto ciclo de selección hacia mayor PE se prosiguió en forma divergente siguiendo el método de cruza doble crítica entre los dos primeros sintéticos para hacer uno solo. En este ciclo, la PE alcanzó 33.28%. La regresión progenie-progenitor se calculó en $P_{op} = 0.65$, lo que indica que el carácter se debe a genes de acción aditiva; el autor también plantea la posibilidad de influencia materna en las plantas gemelas.

Una recapitulación de los avances en el tema de plantas gemelas en el IMM-UAAAN lo presenta Rodríguez (1981), quien prosigue con la selección de maíces hacia mayor PE, realizando selección recurrente para incrementar los genes que condicionan el carácter doble embrión; el autor concluye que el carácter es altamente heredable, señalando también que las dos plantas resultantes de las semillas con doble embrión son gemelas genéticamente idénticas en base a la reducida varianza fenotípica que presenta dentro de los pares de plantas.

Gómez (1983) continuó el programa de selección recurrente en la población de maíz doble embrión para incrementar la frecuencia del carácter “doble embrión”, concluyendo que la frecuencia aumentó a 46.58% para el sexto ciclo de selección.

Espinoza *et al.* (1998) señalan que a partir de 1992, la población base de gemelas se dividió en dos sub-poblaciones: una de porte enano y la otra de porte normal, el manejo reproductivo aplicado en ellas es, desde entonces, a través de cruza fraternal con mezcla de polen. En un ciclo determinado, se seleccionan en campo de 200 a 300 familias de medio hermanos (FMH), las cuales se evalúan posteriormente bajo condiciones de invernadero, sembrando 50 semillas por FMH en cajas de germinación; las mejores 30 a 40 FMH con respecto a germinación y frecuencia PE son las familias que constituyen los progenitores del siguiente ciclo. Los autores señalan que la frecuencia PE tanto en enanas como normales llegó y superó 60% para 1996.

Estos autores también señalan que en 1995, a partir de cada una de las dos poblaciones de alta PE (enana y porte normal) iniciaron un proceso de selección reversa, generando así dos sub-poblaciones en proceso de reducción de la PE, y que constituyen los grupos control de los de alta PE.

Siguiendo el proceso de selección directa y reversa en las sub-poblaciones del IMM-UAAAN, Espinoza y Vega (2000) informan que en el periodo 1995 a 2000 la selección a favor de la PE tiene ganancia entre 2 y 3% por ciclo, mientras que la selección reversa (en contra de la PE) lleva a los grupos a frecuencias PE menores de 6%, agotando prácticamente la condición PE en ellas; este comportamiento asimétrico en la respuesta a la selección es común en casos como el que se aborda. Es relevante en que las poblaciones enana y normal selectas para alta PE pasan de 55 a 65% .

Con base en la literatura aquí señalada, todo parece indicar que en maíz existe el fenómeno de plantas múltiples por semilla, que tienen la característica de nacer

simultáneamente, condición de la PE. Es obvia la ventaja de poseer dos o más embriones por semilla en cuanto a calidad nutritiva del grano y la producción de materia seca por unidad de superficie.

Selección Recurrente

El objetivo central del mejoramiento de las poblaciones por medio de la selección recurrente es el de mejorar la poblaciones de maíz en forma gradual y continua descartando la fracciones más pobres en cada ciclo; las plantas en la fracción superior se cruzan entre si para producir la nueva generación a seleccionar. Las tres fases del esquema de selección recurrente son igualmente importante para obtener una buena respuesta a la selección. El proceso de cruzamientos internos tiene una importancia fundamental en este esquema: regenera la variabilidad genética por el inter-cruzamiento de progenies seleccionadas lo cual gradualmente incrementa la frecuencia de los genes deseables y sus combinaciones. Esto mejora el comportamiento de la población para las características sobre las que se pone presión de selección.

Como el proceso de selección se repite a través de varios ciclos, es importante mantener una variabilidad genética adecuada en las generaciones seleccionadas de la población para que la selección y el mejoramiento sean efectivos. (Paliwal, 1981).

Hallauer (1985, 1992); Hallauer y Miranda (1988); Hallauer, Russell y Lamkey (1988); Paterniani (1990); Pandey y Gardner (1992); y Moreno y Cubero (1993)

describieron varios esquemas de mejoramiento de poblaciones; estos pueden ser clasificadas en dos grupos. Los esquemas para el mejoramiento de cada población individual *per se* son llamados esquemas de mejoramiento intra-poblacionales o selección recurrente; estos esquemas son más efectivos en el mejoramiento de poblaciones individuales para a obtención de variedades de polinización abierta. Las poblaciones mejoradas deberían de haber acumulado tantos alelos favorables como sea posible en cada *locus*; aplicando las modalidades de selección masal; mazorca por surco; familia de medio hermanos (FMH); familias de hermanos carnales (FHC); líneas S1 y/o S2; cruza de prueba.

El segundo grupo de los esquemas es el de mejoramiento inter.-poblacionales o selección recíproca recurrente, se refiere al mejoramientos simultáneo de dos poblaciones formando un par heterocigótico donde ambas poblaciones son mejoradas simultáneamente, en función de la compatibilidad en los cruzamientos. Este procedimiento es adoptado cuando el objetivo es desarrollar y usar alguna formas de combinaciones de híbrido, e incluye selección recíproca recurrente de FMH y FHC.

La selección recurrente consiste en re-seleccionar tras generaciones después de practicar recombinación genética entre las unidades de selección superiores. En tal circunstancia, la selección recurrente (SR) opera sobre la nuevas combinaciones genotípicas que contienen genes que aportan superioridad, de manera tal que se van acumulando los genes favorables a través de las generaciones, dando lugar a combinaciones genotípicas (o genotipos) superiores en frecuencias cada vez mayores,

aumentando así la media genética de la población; desde luego, también contienen genes desfavorables cuya proporción dependerá de la eficiencia de la selección.

Cuando se habla de la SR de este tipo se le define como SR fenotípica por que se hace en base al fenotipo deseado, Márquez (1988). La efectividad y el éxito de dicha selección dependerán de la variabilidad genética y de las frecuencias génicas de la población; del grado de la heredabilidad de las características bajo selección; de la existencia de genes deseables en la población original, el grado de recombinación y el número de ciclos de selección. (Allard 1967).

Selección recurrente de familias de medio hermanos

Como su nombre implica, la semilla de una mazorca seleccionada es sembrada en un surco separado. La principal ventaja de este sistema es que la selección se puede basar en el comportamiento del surco / familia así como en el de la planta individual. En maíz, las semillas de cada mazorca que experimentaron polinización abierta, son una familia de medio hermanos, donde se conoce solamente la identidad del progenitor femenino. En su forma más simple, el sistema de selección mazorca por surco (MS) / medio hermanos (MH) necesita solamente algo más de trabajo que la selección masal, pero es más efectivo para muchas características. Eso permite la eliminación de surcos / familias indeseables en la etapas tempranas antes de la emersión de la espiga, la selección de las plantas polinizadoras en buenos surcos / familias y finalmente la selección de sólo las mejores plantas fundadoras de la población de maíz para el

mejoramiento de algunas características específicas de las poblaciones y variedades (Jugenheimer, 1985).

En México los que más han utilizado las diversas formas del sistema de selección de medio hermanos para el mejoramiento del grupo de genes de base amplia han sido los investigadores del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), entre los que destacan Paliwal y Sprague, 1981; Vasal, Ortega y Pandey, 1982; Pandey *et al.*, 1984; De León y Pandey, 1989; Granados, *et al.*, 1993). El número de ciclos de selección detectado en los trabajos de estos autores varía de 3 a 16, y las ganancias por ciclo entre -0.16% y $+5.90\%$; en estos casos sólo se aplicó una presión de selección moderada. Si bien la ganancia de rendimiento fue la principal característica considerada, también se prestó atención a otras características tales como madurez precoz, menor altura de planta y resistencia a enfermedades.

Estudiando el contenido en aceite del grano de maíz Sprague, *et al.* (1977) presentan los primeros datos convincentes sobre la efectividad de la selección recurrente para modificar la frecuencia de los genes en la variedad sintética stiff stalk, donde analizaron el contenido de aceite del grano de cien autofecundaciones, seleccionando diez de ellas que presentaron el mayor contenido; para utilizarlas como material progenitor para la selección recurrente. Ellos sembraron las diez mazorcas por el método mazorca por surco y se hicieron todos los entrecruzamientos posibles. Y así iniciar el siguiente ciclo de selección. Obteniendo resultados donde se incrementó rápidamente el por ciento de aceite, siendo de 4.2 el de la población original, 4.97 el de las diez panojas

fundacionales seleccionadas en dicha población, 5.2 para el primer ciclo y 7.0 para el segundo ciclo. La diferencia entre el contenido máximo y mínimo de aceite fue muy semejante para los dos ciclos iniciales aunque superior al de la población original.

Aceite y Proteína en el Grano de Maíz

Ácidos grasos

Los lípidos se han clasificado de varias formas; la más satisfactoria es la que se basa en la estructura de sus esqueletos de carbono y se definen como sigue: (1) Lípidos complejos, los cuales se caracterizan por que contienen ácidos grasos como componentes; comprenden a los acilglicéridos, los fosfoglicéridos, los esfingolípidos y las ceras. Reciben también el nombre de lípidos saponificables porque producen jabones (sales de ácidos grasos) por hidrólisis alcalina; (2) lípidos sencillos, que son los que no contienen ácidos grasos y no son por tanto, saponificables, comprenden a los terpenos esteroides y las prostaglandinas (Mertz, 1989).

Aunque los ácidos grasos (AG) se encuentran en células y tejidos en cantidades muy grandes como componentes fundamentales de los lípidos complejos, en estado libre aparecen solamente en trazas. Se han aislado unas 100 clases diferentes de ácidos grasos procedentes de diversos lípidos de animales, vegetales y microorganismos. Todos ellos poseen una cadena hidro-carbonada larga con un grupo carboxilo terminal, y difieren entre sí por: a) la longitud de la cadena de carbono, b) presencia o no de dobles enlaces, y c) configuración de los dobles enlaces; los AG más abundantes son aquellos que contienen de 16-18 carbonos en cadena.

Se consideran ácidos grasos esenciales a los que se precisan en la dieta de mamíferos. El ácido graso esencial más abundante en los mamíferos es el ácido linoleico, que integra del 10 al 20% de los ácidos grasos totales de sus triacilglicéridos y fosfoglicéridos. Los ácidos grasos esenciales insaturados incluyen los mono-insaturados, una doble ligadura en la cadena de carbonos, y los poli-insaturados, que tienen dos o más dobles ligaduras en alguna parte de la cadena de carbonos. De los mono-insaturados el más importante es el ácido oleico. Dentro de los ácidos grasos poli-insaturados están los omega 6 y los omega 3, que son esenciales y deben ser aportados por la dieta. El ácido linoleico es el precursor de los ácidos grasos omega 6 y el ácido α -linolénico lo es de los ácidos grasos omega 3. (Amadori, 1989).

Existe una considerable variación en el contenido de aceite en el genoma del maíz donde la mayor parte del cual está contenido en el embrión. Los triacilglicéridos son el componente mayoritario del aceite de maíz, estos contienen una mezcla de AG saturados e insaturados; en su mayor parte los AG insaturados son el linoleico (58%) y oleico (27%), que se emplea para el consumo humano, (Amadori, 1989). Generalmente, se acepta el aceite de maíz como de alta calidad cuando el contenido del AG oleico es superior al reportado en el maíz común. (Can, *et al.*, 1999). El ácido oleico contribuye a aumentar en el organismo los niveles de lipoproteínas de alta densidad HDL (colesterol bueno); estas lipoproteína se encargan principalmente de retirar el exceso de colesterol malo de los tejidos, equilibrando de esta forma la alimentación, además el ácido oleico representa una fuente de energía asimilable, es de fácil digestión, y aumenta la secreción de enzimas digestivas y la de ácidos biliares.

El maíz HOC (high oil corn) debe su alto contenido de aceite al incremento en la porción del germen de grano; también hay un incremento correspondiente de 0.38% en proteína por cada incremento de 1% en aceite. Un incremento de 1% en la concentración de grasa cruda resulta por lo general en una disminución de 1% de almidón. El aumento en la fracción del germen a costa del endospermo, mejora la calidad de la proteína del todo el grano de HOC. Las variedades HOC contienen entre 6% y 8% de aceite, y 8% de proteína cruda. Feed & Grain, en su fascículo de abril, (1998).

La producción de maíz alto en aceite (HOC) incrementó su superficie sembrada en los Estados Unidos de América, de 50,000 hectáreas en 1992 a casi un millón de hectáreas en 1998, porque contiene de 1 a 2 veces más aceite, así como proteínas de alta calidad que el maíz amarillo normal. Siendo atractivo como alimento para ganado porque tiene mayor valor energético y puede reemplazar a otras fuentes dietéticas más caras. Pero no son ampliamente utilizados por los productores porque su potencial de rendimiento es bajo comparado con el normal (Poehlman, 1987).

Estudios de Windstrom y Jellum, (1984) relativos a la herencia de los ácidos grasos oleico y linoleico en maíz informan de una correlación negativa entre ellos y que los genes que controlan su composición se localizan en el brazo largo del cromosoma 5; también encontraron indicios de que existen genes que controlan el ácido linoleico en el brazo corto del cromosoma 4, y en el corto del cromosoma 1.

Por otro lado, un estudio realizado por Wright (1995), se encontró una mutación en la variedad B73 SME mejorada, que aumenta la concentración del ácido oleico en la

semilla de maíz. Esta mutación (designada *Olc1*) tiene un efecto parcialmente dominante. Las concentraciones del ácido oleico en los no mutantes B73, heterocigoto *Olc 1* y homocigoto *Olc1* son aproximadamente 27% y 35% respectivamente y de 52% en la F₂ del mutante B73. Las translocaciones indican que el gen *Olc1* se localiza en el brazo largo de cromosoma 1.

Como se desprende de esta literatura, los genes que influyen los ácidos grasos oleico y linoleico son varios, localizados en al menos tres cromosomas del genoma de maíz.

Lisina y Triptófano

Las proteínas resultan de distintas combinaciones generadas por los veinte aminoácidos naturales; los aminoácidos se unen en largas hileras o cadenas, mantenidas por enlaces peptídicos. Para sintetizar sus proteínas esenciales, cada especie necesita disponer de los veinte aminoácidos, los cuales se clasifican en esenciales y no esenciales; estos pueden ser sintetizados por el organismo, y los esenciales son aquellos que deben de ser necesariamente incluidos en la dieta de humanos, entre estos se encuentran: triptófano, lisina, valina, fenilalanina, treonina, metionina, leucina, isoleucina. Las plantas pueden fabricar sus aminoácidos a partir de nitrógeno, dióxido de carbono y otros compuestos por medio de la fotosíntesis (Lehninger, 1981).

En los maíces comunes, el endospermo comprende cerca del 84% del peso seco del grano, el embrión abarca el 10% y el pericarpio y el esculeto componen el restante

6%. El endospermo del grano de maíz es la zona más importante de almacenamiento de los carbohidratos y de las proteínas sintetizadas por esta especie fotosintética eficiente; por lo general, la proteína en el grano del maíz se encuentra contenida principalmente en el endospermo, 75-85% de la proteína total, y en el embrión 15-20% (Mertz, 1964)

El maíz es usado en formas distintas más que cualquier otro cereal; las principales son como alimento humano, ya sea en presentación natural o industrial; alimento para animales y fermentado para varios productos industriales.

Se han hecho algunos esfuerzos exitosos para aumentar el contenido de proteínas del maíz y el ejemplo clásico es la experimentación a largo plazo para alto contenido de proteínas llevada a cabo en una población de maíz en la estación agrícola experimental de Illinois. Después de 70 ciclos de selección, el contenido de proteína del grano se incrementó de 10.9% a 26.6%. (Dudley, J. W., 1974). No se ha alcanzado un límite para seleccionar niveles más altos de proteínas, pero existe una correlación negativa entre el rendimiento de grano y el porcentaje de proteína en el mismo (Dudley y Lambert, 1977). Sin embargo, y tal como se esperaba, el incremento en el porcentaje de proteína no mostró un aumento proporcional en el valor nutricional del maíz. (Poehlman, 1987). El descubrimiento del efecto químico del mutante *opaco-2* (*o2*) en la composición de la proteína de maíz por un aumento en el contenido de lisina y triptófano del endospermo realizado por Mertz, E. T. *et al.*, 1964. Llevó a un renovado interés y a un esfuerzo para mejorar la calidad nutricional de la proteína del maíz. El maíz *opaco-2* mostró un incremento significativo en el contenido de lisina y triptófano del endospermo y, por lo tanto, mejoró la calidad nutricional. Sin embargo, el gen *o2* trajo consigo varias

deficiencias fenotípicas inherentes: una textura blanda del endospermo y una pobre apariencia opaca del grano; una mayor susceptibilidad a los hongos de la pudrición de la mazorca y al daño de los insectos en el campo y en el almacenamiento; un mayor contenido de humedad del grano en el momento de la cosecha; un pericarpio más grueso y una baja germinación de la semilla, y por sobre todo, rendimientos más pobres Vasal *et al.* (1980); Villegas, E. *et al.* (1992); Magnavaca *et al.* (1993); Vasal (1994).

Un progreso similar en el desarrollo de germoplasma de maíz de alta calidad de proteica con altos rendimientos comparable al del maíz normal se obtuvo por medio de grupos de genes de maíces con proteínas de calidad, poblaciones y variedades de polinización abierta por su adaptación a distintas condiciones, y líneas endocriadas con buena habilidad combinatoria para la producción de híbridos de maíz de proteínas de calidad que pueden fortalecer el cultivo y la producción de este tipo de maíces (Bjarnason y Vasal, 1992; Magnavaca *et al.*, 1989; Vasal, 1994). Pixley y Bjarnason (1993) reportaron sobre los resultados de ensayos de cuatro dialélicos con 28 líneas de maíz de proteínas de calidad derivadas de cinco poblaciones. En estos ensayos los mejores híbridos de proteínas de calidad dieron un rendimiento promedio de grano 14% superior a los mejores testigos. La concentración de triptófano en el grano aumentó en 48% y su concentración en las proteínas se incrementó en 60% a los cuales denominaron QPM por sus siglas en inglés (Quality protein maize).

Por otra parte, el hecho de que una semilla de maíz cuente con dos o más embriones reviste gran importancia debido a que en el embrión se concentra la mayor parte del aceite y la proteína de mejor calidad, rica en lisina, de la semilla de maíz, por lo

que es fácil de suponer que dos o más embriones proveerán a la semilla de más calidad nutritiva.

El porcentaje del embrión en el grano entero es mayor significativamente en semillas con doble embrión en comparación con semillas mono-embriónicas de la misma mazorca ya que en semillas con doble embrión el porcentaje del embrión en el grano es de 18.70% y en semillas normales correspondió a 16.96% por lo que se afirma que el carácter doble embrión hace que la semilla sea superior nutritivamente (Rodríguez, 1981).

Pesev *et al.*, (1976) hicieron una comparación del valor nutritivo de las semillas con doble embrión contra granos normales provenientes de la misma línea seleccionada hacia mayor poliembriónía, determinando que las semillas con doble embrión mostraron un mayor incremento en proteína cruda de un 4 a 6%, y de lisina en g/100g de proteína, de 21.3 a 34.0%, mientras que en aceite el incremento fue de 3.5 a 13.6%.

Los análisis de laboratorio para contenidos de proteína cruda (PC) y grasas (GR) en semillas completas practicado en los maíces PE del IMM, genotipos enanos (braquíptico) o normales, mostraron una media general de PC = 11.08% y de GR= 4.46%, lo que indica que la PC de estos maíces es de 6 a 30% más que en maíces comunes (amarillo o blancos mexicanos); el contenido de grasa en estos datos ubica también a los maíces poiembriónicos en los niveles superiores de los maíces comunes. La superioridad cuantitativa en PC de los maíces PE puede ser también cualitativa al incluir más

proteínas de origen embrionario por la condición de que el 60% de los granos de una mazorca tienen dos o más embriones (Espinoza *et al.*, 1999).

Parámetros Físicoquímicos

De acuerdo al reporte del Museo Nacional de Cultura Populares (1982), se sabe que los contenidos de carbohidratos, aminoácidos, minerales y vitaminas varían en cada raza de maíz (Hernández, 1986).

El grano de maíz está constituido principalmente por almidón (80%), proteínas (10%), lípidos (4.5%) y fibra cruda (3.5%), también de componentes minoritarios como azúcares libres, minerales y vitaminas (2%). Jugenheimer (1981).

El almidón del grano de maíz, es fuente de energía dentro de los alimentos, es un polisacárido de glucosa que se encuentra en forma de gránulo, consta de dos fracciones, la amilosa y la amilopectina que son moléculas de glucosa unidas por enlace glucosídicos (1-4), que en número de 2 moléculas forman la maltosa. La amilopectina es la otra fracción del polisacárido que forma al almidón y es un polímero lineal unidos por enlaces (1-4) de 15 a 25 unidades de glucosa en cadena y forman ramificaciones entre sí a través de enlaces glucosídicos (1-6). La amilopectina contiene más o menos 40,000 moléculas de glucosa, es la fracción más grande del almidón. Cada almidón de cada grano difiere de la proporción en que se encuentran estos dos polisacáridos; para el caso del maíz se encuentran 27% de amilosa y 73% de amilopectina.

La gelatinización de los gránulos de almidón es un fenómeno importante que ocurre en la mayoría de los procesos alimentarios, los gránulos de almidón absorben agua a medida que hay un incremento en la temperatura y forman una solución viscosa o un gel, dependiendo de la cantidad de agua presente. Este fenómeno se caracteriza por la pérdida del orden de la cristalinidad dentro de los gránulos de almidón, manifestando cambios irreversibles en algunas propiedades como la pérdida de birrefringencia, solubilización e hinchamiento de los gránulos amorfos de almidón, perdiendo su tamaño original (Karaptansios *et al.* 2000). Este proceso es irreversible y por otra parte, los cambios en los gránulos del almidón contribuyen a las propiedades de los alimentos, tales como textura, viscosidad y retención de agua ó humedad.

El punto inicial de gelatinización y el intervalo bajo el cual ocurre, está gobernado por la concentración de almidón, el método de análisis empleado, el tipo de gránulo y la heterogeneidad de los gránulos en cuestión. La temperatura a la cual el almidón empieza a sufrir estos cambios se denomina temperatura de gelatinización; esta temperatura varía también de acuerdo al origen del almidón.

La viscosidad se define como la oposición de un fluido a fluir. Este fenómeno sucede cuando el almidón se calienta, provocando un cambio en el comportamiento en la suspensión a medida que los gránulos se hinchan, propiciando la formación de un gel, esta transición se ve acompañada por un marcado incremento en la viscosidad relativa. Este parámetro es apto para describir la resistencia a la deformación y la consistencia.

Es indudable que tanto a los proveedores y como a los usuarios del almidón, les interesa conocer la calidad del almidón y el comportamiento del fluido para predecir el uso final de éste (Zobel, 1984). Los cambios que ocurren en el almidón gelatinizado de un estado amorfo a un estado cristalino más ordenado se denomina retrogradación. Este cambio se propicia por la reasociación de la moléculas de amilosa del almidón, la cual se caracteriza por un incremento gradual de la rigidez del alimento.

Los cambios físicos que acompañan a la retrogradación tienen influencia en la textura, digestibilidad y aceptabilidad de los productos cuyo componente mayoritario es el almidón (Biliaderis, 1990). Es importante hacer notar que los almidones provenientes de diferentes fuentes botánicas retrogradan a diferentes temperaturas (Thomas y Atwell, 1999).

Los métodos calorimétricos han sido ampliamente utilizados en el estudios de las transiciones de fase y estructura de los almidones, ya sea tanto en estado nativo ó bien como un contribuyente de los alimentos (Biliaderis, 1990). Se ha probado que la presencia de cadenas ordenadas, su carácter meta estable y la interacción entre el almidón y los componentes de un alimento pueden ser probadas por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), estas son medidas a través de los cambios de flujo de calor mientras que la muestra es calentada en un intervalo de temperaturas (Atwell et al., 1988).

El color del grano difiere en las distintas variedades de maíz desde el blanco (crema), amarillo, rojo, azul y morado; existen diferentes métodos para determinar el color, uno de ellos se basa en la determinación por reflexión de la luz, de tres parámetros; “L”, que mide el grado de luminosidad y varía de 100 para el blanco perfecto a 0 para el negro; “a” y “b”, son indicativos de la cromaticidad, los valores positivos de “a” están relacionados con el color rojo y los negativos con el color verde; mientras que los valores positivos del parámetro “b”, están asociados con el color amarillo y los negativos con el azul.

El tamaño de los granos de maíz en la industria harinera es un factor de calidad que en cierta medida proporciona una idea acerca del uso final de éste.

El peso de mil granos es un indicador del tamaño del grano. La prueba es importante ya que el tamaño del grano está relacionado con los rendimientos de la molienda. La industria molinera prefiere los granos uniformes y grandes ya que contienen una mayor proporción de endospermo. No es un indicador preciso de ningún atributo de calidad del grano, aunque el peso del grano sigue siendo un factor importante, ya que en general los defectos de calidad asociados con bajo peso no se reflejan en ninguna otra categoría de clases oficiales (Freeman, 1973). El maíz con bajo peso tiene generalmente un bajo porcentaje de endospermo duro y por lo tanto produce bajo rendimiento en sus productos. El peso de mil granos está en función tanto del tamaño de grano como de la densidad.

Existen pruebas subjetivas para estimar la dureza del grano. Las pruebas tradicionales consisten en someter un lote de grano a la acción abrasiva de un impacto (Prueba de susceptibilidad al quebrado AACC 1995; método 55-20). Esta característica es una propiedad intrínseca e importante del grano para el uso final del maíz.

La asignación del tiempo de cocción, se basa en el modelo propuesto por Gómez, M. H. *et al.* (1993) que evalúa el tiempo de cocción en función de la dureza del grano medida por el índice de flotación, véase el cuadro siguiente.

2.1 Clasificación de granos de maíz por dureza y tiempo de cocción

Granos flotantes	Dureza	Tiempo de cocción (min)
0-12	Muy duro	45
13-37	Duro	40
38-62	Intermedios	35
63-87	Suaves	30
88-100	Muy suaves	25

Gómez (1993)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Área de Estudio:

Los análisis químicos para grasa y proteína cruda, así como los ácidos grasos oleico y linoleico en harina de granos de maíz, se realizaron en el laboratorio de Nutrición y Alimentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicado en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

La cuantificación de los aminoácidos lisina y triptofano se realizó en el Laboratorio de Química de Aditivos del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), con domicilio en Boulevard Enrique Reyna Herмосillo Núm. 140 en la Colonia Saltillo 400, Saltillo, Coahuila.

Los parámetros Físico-químicos de los granos de maíz se realizaron en el Laboratorio de Nixtamalización del CINVESTAV ubicado en Jurriquilla, Querétaro.

Las determinaciones de grasa y proteína cruda, así como los contenidos de ácidos grasos (oleico y linoleico) y aminoácidos (lisina y triptófano) fueron analizados a partir de muestras de 250 g de semilla, obtenida al azar de cada población/generación; de aquí

se tomaron las cantidades adecuadas para moler, obtener la harina y pesar la muestra específica, propia a cada procedimiento.

Procedimiento Experimental:

3.1. Cuantificación de grasa cruda y de los ácidos grasos oleico y linoleico.

a) Extracción de grasa cruda del grano de maíz (aceite de maíz) mediante el método de precolación en el porta muestra del equipo Soxhlet; se colocan 9 g de harina de maíz en papel filtro wathman 41, dentro de un dedal de celulosa; en un matraz de bola, previamente pesado; añaden 70 mL de éter dietílico. El matraz se calienta a una temperatura de 34° C a 36° C. El proceso de extracción se efectúa durante 12 horas continuas a temperatura constante. Al cabo de este tiempo se evapora el éter contenido en el matraz, el cual se pesa y se calcula el por ciento de grasa cruda con la siguiente formula:

Por ciento de grasa cruda = $(\text{peso del matraz solo}) - (\text{peso del matraz} + \text{muestra}) / \text{g de muestra} \times 100$. (Bernardini, 1981).

b) Extracción de los triglicéridos del aceite de maíz: se suspenden 195 mg de aceite en 10 ml de agua destilada y 30 ml de la mezcla extractora cloroformo : metanol (2:1). La mezcla se agita intensamente durante 60 segundos en un embudo de separación y se deja reposar hasta la separación de las dos fases. La fase inferior (orgánica) contiene los

lípidos del aceite, la fase superior (acuosa) contiene las proteínas, sales minerales, hidratos de carbono y otras sustancias no lipídicas, las cuales se desechan.

c) Hidrólisis de triglicéridos hasta ácido graso y esterificación del ácido graso en éter metílico: se realiza en el producto obtenido de la fase orgánica extraída en el paso anterior. Para esto, el extracto se coloca en el micro Rota-vapor a una temperatura de 40-50° C, con vacío moderado, retirando de este modo el cloroformo ahí retenido. Al residuo se le añaden 10 ml de NaOH 0.5 N en metanol, la mezcla se calienta en baño María a 65 ° C. durante 20 minutos, con rotación lenta del micro Rota-vapor. Posteriormente se le adiciona 15 mL del reactivo de Folcha (14% BF₃-CH₃OH). El calentamiento se continua a la misma temperatura durante 5 minutos más. A la solución obtenida en caliente se le añade 30 mL de agua destilada. La solución se enfría y se le adiciona 50 mL de hexano (con agitación intensa). Después de esta segunda extracción se vuelven a separar las fases: fase superior (orgánica) que contiene los éteres metílicos de ácidos grasos (componentes volátiles para la cromatografía de gases) mientras que el resto contiene los productos de hidrólisis. El hexano se destila a una temperatura entre 55 a 60° C. El residuo obtenido se diluye en 5 ml de hexano para su recuperación. Posteriormente, esta muestra se utiliza en el análisis por cromatografía de gases (Trease, G. E. y Willia C. E. 1982).

d) Cuantificación de ácidos grasos mediante cromatografía de gases en el análisis de ésteres metílicos de los ácidos grasos del grano de maíz: Se realizó en un equipo Perkin Elmer Autosistem XL, con una columna capilar EC-1000 (30m x 0.32mm x 0.25 µm) de

alta polaridad empacada de polietilen glycol con modificación ácida. Se emplea el régimen de programación de temperatura de 170° C hasta 220° C con un incremento de 10° C por minuto en una corriente de nitrógeno a 5 mL/min. Se utiliza un detector de ionización de flama (FID) a una temperatura de 220° C. La temperatura de inyección de 250° C con una relación de Split/Splitless2 de 6:1. Los picos obtenidos en el cromatograma se identifican por el tiempo de retención de los estándares los cuales son ésteres metílicos de los ácidos grasos.

3.2. Cuantificación de proteína cruda y de aminoácidos lisina y triptófano.

a) Determinación de proteína cruda: se utilizó el método de Kjeldhal, el cual consiste en colocar 1g de la muestra harina de maíz en un matraz Kjeldhal, se le adicionan 200 mg de selenio (catalizador), seis perlas de vidrio y 30 mL de ácido sulfúrico concentrado. Se coloca el matraz en el digestor Kjeldhal en la parrilla hasta que la muestra cambie de color café oscuro a verde claro; se deja enfriar el matraz y lentamente se le agregan 300 ml de agua destilada. En un matraz Erlemeyer con 50 mL de ácido bórico al 4%, se le añaden de 5 a 6 gotas del indicador mixto y se coloca en la manguera del destilador Kjeldhal dentro del matraz, el cual se agita y se le adiciona lentamente 110 mL de hidróxido de sodio al 45% y seis granallas de zinc, se lleva al aparato de destilación Kjeldhal y se recibe hasta 300 mL en el matraz Erlemeyer; la titulación se realizó con ácido bórico al 0.1N, hasta el viraje a color rosa pálido (AOAC, 1980).

b) Hidrólisis de la muestra: 1 g de harina de maíz se coloca en un matraz Erlemeyer y se le adicionan 40 ml de NaOH al 6%, esta mezcla se coloca en la autoclave a 15 psi, 120°C por 30 min. Después de la hidrólisis se filtra obteniendo la solución acuosa, la

cual se concentra a 10 ml y posteriormente se ajusta con HCL a pH de 4 (Dennison, 1978).

c) Esterificación de los aminoácidos en ésteres etílicos: del hidrolizado se toma 1 ml al cual se le adiciona 1 mL de etanol:piridina (4:1) y 0.5 mL de cloroformato de etilo; se pone en agitación por 1 min. Después se le adiciona 2 mL de cloroformo al 1% de cloroformato de etilo y se pone en agitación 1 min, se separan la dos fases, extrayendo la fase orgánica en la cual se encuentran los aminoácidos esterificados, los cuales se analizan por cromatografía de gases (Husek, 1991).

d) La cromatografía se realizó en un equipo HP modelo 5880, con una columna megaboro Heliflex AT amino acid (25m x 0.53mm x 1.20 μ m). Se emplea el régimen de programación de temperatura de 120° C hasta 220° C con un incremento de 2° C por minuto en una corriente de helio a 30 mL/min. Se utiliza un detector de ionización de flama (FID) a una temperatura de 220° C. La temperatura de inyección a 250° C. En el inyector del cromatógrafo se introducen 3 μ l del liquido de la fase orgánica. Los picos obtenidos en el cromatograma se identifican por el tiempo de retención de los estándares los cuales son ésteres etílicos de los aminoácidos.

3.3. Determinación de propiedades Físico-Químicas de granos de maíz.

a) Color del grano: la determinación del color se efectuó en un colorímetro Portátil MiniScan de Hunter Lab Reston Virginia EUA, que mide el color de las superficies, simulando la luz del día iluminado y cuyo principio se basa en registrar la intensidad de

la luz absorbida por el color negro y la reflejada por el color blanco, así como la descomposición de la luz en los colores: rojo, azul, amarillo y verde.

b) Tamaño del grano: las dimensiones (largo, ancho y espesor) del grano se midieron con un Vernier Digital Mitutoyo. Para esta prueba se seleccionaron al azar cinco granos de cada una de las poblaciones bajo estudio.

c) Peso de mil granos: Se pesaron 100 granos (seleccionados previamente al azar) de cada uno de los maíces en una balanza granataria Sartorius; posteriormente este peso en gramos se multiplicó por 10.

d) Índice de flotación: Se utiliza una solución de nitrato de sodio (300 ml) ajustada a 1.250 g/ml de densidad previamente preparada; se vierten 100 granos limpios de impurezas y se revuelven con un agitador de vidrio y se espera un minuto para tomar la lectura. El número de granos que ascendieron a la superficie se usa como índice de flotación.

e) Dureza del grano: Se seleccionaron al azar 10 granos de cada uno de los maíces, la parte más dura del grano se sometió a una fuerza de penetración, a través de un punzón con un ángulo de 30°, el cual estaba conectado a un analizador de Textura Universal TA-XT2. La prueba se realizó a una velocidad de 0.5 mm/s y una distancia de penetración de 2 mm

f) Perfil amilo-gráfico: Se prepararon muestras de 4 g de maíz molido y cribado por una malla US 62 (250 μm) y se les determinó viscosidad utilizando el Rapid Visco Analyser 3C (Newport Scientific PTY Ltd., Sidney Australia). A los 4 g de maíz molidos se les suspendió en 24 ml de agua destilada. Se utilizó un programa de tiempos y una temperatura de un minuto a 50° C, después fueron llevadas a 92° C con incrementos de temperatura de 5.6° C por minuto, manteniéndose a esta temperatura durante 5 minutos; posteriormente, se fue disminuyendo la temperatura hasta 50° C a la misma velocidad y permaneciendo a esa temperatura por un minuto, sumando un tiempo total de prueba de 22 minutos. Durante el desarrollo de la prueba, la computadora registra automáticamente la viscosidad en unidades relativas de viscosidad (RVU) y la temperatura (° C) de la muestra contra el tiempo (min) transcurrido en la prueba. Resultando una curva de viscosidad (gelatinización) llamada visco-amilograma. De estos perfiles se determinaron: temperatura inicial de gelatinización, viscosidad inicial, pico de viscosidad máxima, temperatura de viscosidad máxima y la viscosidad de retrogradación.

g) Calorimetría diferencial de barrido: Se utilizó un equipo DSC Mettler Toledo; la muestra fue de 7 μg de maíz molido y pasado a través de una malla US60, la cual fue colocada en una charola de aluminio, agregándose 4.9 μl de agua destilada. La charola se selló con una prenda Mettler Toledo; posteriormente se sometió a calentamiento en un intervalo de temperatura de 40 a 110° C con una razón de calentamiento de 3° C/min. De los termogramas se determinaron: temperatura inicial (T_0), temperatura pico (T_p) y temperatura final de gelatinización (T_f) además de la entalpía (ΔH).

Material Genético Evaluado

En este trabajo se utilizaron muestras aleatorias de varios ciclos de selección, aplicados a cuatro poblaciones de interés poliembriónico PE (ver Cuadro 3.1), y cuatro genotipos ajenos a los PE que sirvieron de testigos. Las poblaciones se denominan BAP, braquítica seleccionada para alta PE; NAP, normal, de alta PE; sus grupos control BBP; braquítica, desprendida de BAP en 1995 y bajo selección reversa para reducir la frecuencia PE; NBP, normal desprendida de NAP en 1995 y seleccionada de la misma manera que BBP.

Los testigos de referencia para contenido de aceite son: una población Tuxpeño de CIMMYT seleccionada para alto contenido de aceite (HOC; high oil corn); y una variedad sintética generada por el IMM-UAAAN para las localidades temporaleras de la región Ixtlera, Norte de México, denominada VAN-210.

Los dos testigos para calidad de proteína son una población mejorada para alta calidad proteica (QPM; quality protein maize) proporcionada por el CIMMYT; y una variedad criolla del sureste de Saltillo, proporcionada por un agricultor del Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coahuila.

De las poblaciones de interés PE; se tomaron muestras al azar de semillas (las contenidas en 250 g) de diferentes ciclos de selección, como se describe en el cuadro 3.1, incluyendo sus frecuencias PE observada en lotes experimentales, en campo

Cuadro 3.1 Fuente de muestras de semillas de maíz PE para en estudio.

Población	Generación	% PE	Aplicación
BAP	BAP-1994	36	Determinaciones de contenido de (1) grasa y (2) proteína cruda; ácidos grasos (3) oleico y (4) linoleico; los aminoácidos (5) lisina y (6) triptófano; y propiedades físico-químicos del grano (7).
	BAP-1997	46	
	BAP-2000	71	
	BAP-2003	60	
	BAP-2004	60	
NAP	NAP-1994	32	(1), (2), (3), (4), (5), (6) y (7).
	NAP-1997	49	
	NAP-2000	69	
	NAP-2003	60	
	NAP-2004	60	
BBP	BBP-2000	7	(1), (2), (3), (4), (5), (6) y (7).
	BBP-2003	5	
	BBP-2004	4	
NBP	NBP-2000	6	(1), (2), (3), (4), (5), (6) y (7).
	NBP-2003	5	
	NBP-2004	4	

Variables de Estudio

- Por ciento de grasa cruda (GC), método Soxhlet.
- Por ciento de los ácidos grasos oleico (OL) y linoleico (LN), cromatografía de gases.
- Relación oleico /linoleico (OL/LN), cociente de los valores de los ácidos grasos.
- Por ciento de proteína cruda (PC), método Kjeldhal.
- Por ciento de los aminoácido lisina (LI) y triptofano (TR), cromatografía de gases, descrito en la sección anterior.
- Parámetros Fisico-químicos, varios métodos, descritos en la sección anterior.

Análisis Estadístico

Aplicación de la técnica de análisis de varianza (ANVA) por población bajo estudio, a través de datos promedio de cada variable en las generaciones 1994, 1997, 2000, 2003 y 2004, así como los valores de esas variables en los testigos; el ANVA será ejecutado utilizando herramientas del SAS, correspondiente a PROC GLM, con un modelo variable = tratamientos. Al detectar diferencias ($P > 0.05$ ó 0.01) se utilizará la prueba de Tukey ($\alpha=0.5$) para detectar el agrupamiento diferencial de medias de tratamiento.

El diseño experimental para cada una de las variables corresponde a uno completamente al azar, 6 tratamientos, 3 repeticiones, aplicando el análisis de varianza que corresponde.

La regresión lineal se aplica para detectar el comportamiento de la variable a través de las generaciones incluidas en el estudio; los indicadores estadísticos al respecto, darán materia para evaluar magnitud y tendencia de los cambios suscitados en la (s) variable (s) a través del proceso de selección a favor o en contra de la PE, en cada una de las poblaciones.

La hipótesis relativa a una respuesta indirecta y positiva de la calidad nutrimental del grano de maíz como respuesta asociada a la selección recurrente para alta PE, aplicada de manera directa a dos poblaciones, denominadas BAP y NAP, se aborda analizando los resultados de cinco generaciones (1994, 1997, 2000, 2003 y 2004) en las variables para contenido de aceite: GC, OL, y relación OL/LN; y las de calidad proteica, que son: PC, LI Y TR. Datos de todas las generaciones de selección se utilizaron en los análisis de las primeras cuatro variables, mientras que para LI y TR se utilizaron datos de sólo dos o tres generaciones.

El análisis de resultados en las poblaciones control BBP y NBP, de baja poliembrionía, desprendidas de BAP y NAP para seleccionar en contra de la PE, que aparecen relevantes a partir del año 2000, utiliza datos de sólo dos o tres generaciones recientes, y se hace con la finalidad de contrastarles con los resultados más completos, aplicados a BAP y NAP.

Los resultados y la discusión respectiva que se desprende de los análisis de varianza, se presentarán por población, criticando diferencias entre tratamiento y testigos; de manera similar, se muestran los análisis de regresión aplicados a las variables de cada población con la finalidad de detectar cambios a través de generaciones de selección.

Finalmente se describen la caracterización físico-química de los granos para cada una de las poblaciones de interés PE.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En función de la hipótesis de trabajo, relativa a la respuesta para calidad nutrimental del grano, presumiblemente asociada a la selección directa para frecuencia poliembriónica (PE), los datos de determinaciones químicas en cuanto grasas y aceites en muestras de harina de grano completo por población, se relacionaron con los ciclos de selección observados. Los análisis de varianza (ANVA), y prueba de medias procedente, permiten dilucidar diferencias en la respuesta a través de generaciones de selección. Se aplicó también un análisis de regresión lineal simple para documentar presencia de una pendiente diferente de cero y su signo, lo cual evidenciaría una respuesta real a la selección.

Las variables sobre aceite, que son: GC, OL y la relación OL/LN, así como la variable proteína cruda (PC), se analizaron en cada una de las cuatro poblaciones (BAP, NAP, y BBP, NBP) incluyendo sus testigos (aceite: población HOC y VAN-210; aminoácidos: población QPM y Criollo regional) a través de cinco generaciones de selección (generaciones: 1994, 1997, 2000, 2003 y 2004); las variables en aminoácidos: LIS y TRI, se analizaron de manera completa sólo para la población BAP, pero en las otras poblaciones se logró en casos para dos o tres generaciones, por carecer de todos los análisis químicos, cuya realización no se logró por causas ajenas a los investigadores de

este trabajo. Las fuentes de variación del ANVA se juzgaron con niveles de significación $F \leq 0.05$ y 0.01 ; la Prueba de Tukey con una $\alpha = 0.05$. Las pendientes diferentes de cero en regresión se calificarán con una probabilidad ≤ 0.10 ; esta condición de tolerancia se aplica por la cortedad de los datos, donde se cuenta con cuatro ciclos de selección equidistantes y un quinto agregado por ser el ciclo de selección más reciente.

Los resultados, con el tipo de análisis descrito arriba, así como la discusión generada al respecto, se presentará población por población, en todos sus ciclos disponibles. También, y con la finalidad de probar la diferencia entre poblaciones, y agruparlas por comportamiento similar, se corrió un ANVA que prueba diferencias entre grupos dentro de la generación 2000, que fue la que presentó los mejores resultados en las determinaciones químicas de aceites y aminoácidos.

Por considerarlo de importancia agroindustrial, al final del Capítulo se presenta la caracterización de las propiedades físico-químicas de las semillas de las cuatro poblaciones de maíz de interés poliembriónico.

Población normal de alta poliembriónía (NAP)

Aceite: En cuanto a frecuencia PE, la población ha transitado de 47% en la generación de 1994, pasando por 69% en 2000, y estabilizándose prácticamente en 60% en los años 2003, y 2004 (Espinoza et al., 1998). Este incremento PE indica una

ganancia por selección de 1.2% anual en NAP (Cuadro A1, Apéndice). La cuestión aquí es si esta ganancia positiva impacta del mismo modo los contenidos de aceite en el grano de maíz.

El ANVA correspondientes a las cinco generaciones NAP (tratamientos) y testigos para las variables de **aceite**: GC, OL, OL/LN, aparece en el Cuadro 4.1, destacando diferencias reales entre tratamientos ($P < 0.01$) en todas las variables de respuesta. La comparación de medias (Cuadro A1) señala la esperada superioridad de HOC, testigo de alto aceite, por sobre todos los demás genotipos; sin embargo, es muy notable el comportamiento sobresaliente y gradualmente en ascenso de los grupos NAP a través de las generaciones; de 1994 a 2004, las ganancias reales en cuanto a GC, OL, y OL/LN fueron 36%, 45% y 8% respectivamente.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios para las variables GC, OL y OL/LN, de la población NAP en cinco generaciones y sus testigos. Análisis químico del 2004.

F de. V.	g. l.	GC %	OL %	OL/LN %
Tratamientos	6	7.009 **	74.071 **	0.040**
Error	14	0.046	4.344	0.0005
\bar{x}		5.970	35.316	0.920
C. V.		3.609	6.450	2.537
\bar{x} mejor tratamiento		6.25	36.37	1.004
\bar{x} HOC		8.95	37.59	0.863
\bar{x} peor tratamiento		4.57	25.11	0.926
\bar{x} VAN-210		4.22	29.28	0.682

** Diferencias significativas al 0.01 de probabilidad. Testigo 1 = HOC (Hig Oil Corn: maíz de alto aceite) y testigo 2 = VAN-210 (Variedad Antonio Narro). Tratamientos = Generaciones.

Observando las medias y su agrupación por Tukey, el HOC, población seleccionada ex profeso para alto contenido de aceite, fue 95% superior a NAP-1994, la población de referencia en este trabajo, pero sólo 44% más alto que NAP-2004; esto puede significar que la selección a favor de la PE por espacio de 10 años, ha favorecido

de manera indirecta una mayor concentración de grasa cruda, igualando también el contenido de ácido oleico con HOC, y superándolo muy significativamente la relación OL con el ácido linoleico (OL/LN).

Las diferencias documentadas aquí son consecuentes con la diversidad de genotipos incluidos en el análisis; la población NAP ha estado sometida a selección sólo para alta PE, pero que ha respondido con mejores niveles en las variables bajo estudio; por otra parte, el segundo testigo, VAN-210, es una variedad mejorada, diseñada para adaptarse a las condiciones de agricultura de temporal en la Región Ixtlera, cinco estados del Norte–Noreste de México y, de acuerdo a los resultados en este trabajo, la que contiene menor calidad nutrimental en el grano en cuanto a grasa y sus ácidos insaturados, mostrando niveles típicos del maíz común (Wydstrom y Jellem, 1976; Amadori, 1989); y finalmente, la población HOC de CIMMYT, especializada en aceite, con niveles muy notables y similares a los reportados por otros investigadores (Can, *et al.*, 1999), pero definitivamente no la mejor opción en cuanto a la relación OL/LN, variable que importa en la industrialización de aceites comestibles. Sin duda, las evidencias apoyan la validez de la hipótesis esgrimida aquí en cuanto a una mayor calidad nutrimental de NAP como producto de selección para alta poliembrionía.

Estos resultados parecen relevantes y de utilidad en el mejoramiento de maíz, ya que al seleccionar para alta frecuencia PE, los contenidos de GC, OL y OL/LN se han comportado como variables positivamente correlacionadas a niveles altos de PE. Si esta asociación se incluyera en variedades de uso agrícola, beneficiaría al agricultor ya que

poseería una semilla que le generaría más de una planta, ahorrando semilla para siembra, además de una cosecha con valor agregado por la calidad nutrimental del grano.

Calidad proteica: Esta parte de la investigación se aborda a través de los contenidos en grano de las variables: proteína cruda, PC, y los aminoácidos lisina, LI y triptófano TR, estos últimos expresados en gramos por 100 g de proteína; al respecto, se conoce que la proteína se concentra en el endospermo en proporciones de 75 a 85%, y de 15 a 25% en el embrión (Paliwal, *et. al.* 1981).

En este contexto, el grano de maíz común posee proporciones de PC en una banda estrecha de 7.5 a 10.5%, y los niveles de aminoácidos LI y TR son críticos y del orden de 0.16 a 0.28% y .05 a .07% respectivamente. Los contenidos de aminoácidos LI y TR, expresados en gramos por 100 g de proteína, varían en el maíz común en el intervalo de 1.2 a 2.1 y 0.1 a 0.2, respectivamente; en el maíz QPM, los valores se ubican en 4.0 - 5.0 g y 0.5 - 0.9 g; y en granos con dos embriones de maíces yugoslavos, datos de Pesev et al. (1976), el contenido de LI lo ubican entre 2.97 - 3.17 g.

El análisis de varianza para observar si la selección hacia mayor PE influye de alguna manera en el contenido de LI y TR, aparece en el Cuadro 4.2. Aquí, la variable PC utilizó datos de todas las generaciones de selección, pero LI y TR sólo utilizaron datos de las generaciones 1994 y 2000, ya que no se dispuso del equipo necesario para la determinación de todas las pruebas de laboratorio; éste fue facilitado temporalmente por el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), laboratorio de Química de Aditivos, Institución que merece el agradecimiento de los investigadores.

Cuadro 4.2. Cuadrados medios para las variables PC, cinco generaciones, y LI y TR, dos generaciones, población NAP. Análisis Químico del 2004.

F. de V.	g. l.	PC %	g. l.	LI ¹	TR ¹
Tratamientos	6	1.669**	3	4.675**	0.171**
Error	14	0.038	4	0.040	0.0008
\bar{x}		10.228		2.690	0.417
C. V.		1.909		7.409	6.775
\bar{x} mejor tratamiento		11.19		2.5	0.34
\bar{x} QPM		10.66		4.89	0.85
\bar{x} peor tratamiento		9.28		1.55	0.23
\bar{x} Criollo		9.76		1.76	0.25

** Diferencias significativas al 0.01 de probabilidad. ¹ Gramos por 100 g de proteína cruda. Testigo 3 = QPM (quality protein maize :maíz de alta calidad proteica) y Testigo 4 = criollo regional.

Las diferencias entre tratamientos ($P < 0.01$) para las tres variables PC, LI y TR indican capacidades diferentes para calidad nutricional de grano entre los materiales genéticos bajo estudio; ya que provienen de programas generados por diversos investigadores y propósitos diferentes; mientras que la población QPM, seleccionada específicamente para alta concentración de lisina y triptófano, la población NAP del IMM-UAAAN sólo se ha mejorado para incrementar el nivel de poliembriónia. Y qué decir del material criollo, que sólo ha sido seleccionado por los agricultores de una manera práctica para adaptabilidad y productividad en la región de procedencia.

Es común que el porcentaje de PC cambie en una banda estrecha entre diferentes maíces, e incluso por diferencias en manejo; el caso aquí muestra que una generación NAP superó estadísticamente a la fuente QPM; sin embargo, lo importante en este tema es la calidad en contenidos de aminoácidos esenciales como LI y TR.

De acuerdo a lo esperado, la población QPM presentó niveles cercanos a 5 g de LI, y a 1.0 g en TR, montos que son dos o tres veces superior a los contenidos en granos de maíz común; los dos datos NAP en estas variables son insuficientes para observar el efecto de la selección PE; sin embargo NAP-2000 refleja una tendencia a incrementar el contenido de estos dos aminoácidos, al ser superior a NAP-1994 y testigo criollo ($P \leq .5$), en proporciones de 65% y 45% en el caso de LI, y de 48% y 36% en TR. Estas diferencias permiten establecer que no existe una relación entre el nivel de proteína y el contenido de LI y TR, ya que éstos influyen en la calidad de la proteína, o como lo menciona Poehlman (1987), el sólo incremento de PC en el grano de maíz no es de vital importancia, porque al aumentar el contenido de proteína no aumenta el valor nutricional del grano de maíz.

Población braquítica de alta poliembrionia (BAP)

Aceite: La frecuencia del carácter PE en la población de porte braquítico o enano (BAP) paso de 46% en 1994, a 65% en 2000 (Espinoza *et al*; 2000), estabilizándose en 60% en 2004 (comunicación personal, datos por publicar). Este transito en la PE significa incrementos de 1.4% anual, demostrables bajo condiciones de siembra en campo. Por ello, importa corroborar si, de manera análoga a la población NAP, la ganancia en PE repercute positivamente en la calidad nutrimental del grano.

El análisis de varianza realizado para las cinco generaciones de selección recurrente y los dos testigos presentaron diferencias ($P \leq 0.01$) para las variables GC,

OL y OL/LN, (Cuadro 4.3). Caso similar al de la población NAP, donde una vez más se comprueba la influencia del origen diverso de los materiales evaluados.

Cuadro 4.3. Cuadrados medios para las variables GC, OL y OL/LN, de la población BAP en cinco generaciones y sus testigos. Análisis químico del 2004.

F. de V.	g. l.	GC %	OL %	OL/LN %
Tratamientos	6	7.414**	134.015**	0.051**
Error	14	0.015	5.672	0.002
\bar{x}		6.064	29.700	0.932
C. V.		2.080	8.019	4.741
\bar{x} mejor tratamiento		6.74	35.26	1.100
\bar{x} HOC		8.95	37.59	0.863
\bar{x} peor tratamiento		4.27	19.46	0.965
\bar{x} VAN-210		4.22	29.28	0.683

** Diferencias significativas al 0.01 de probabilidad. Testigo 1 = HOC (hig oil corn: maíz alto en aceite) y Testigo 2 = VAN-210 (Variedad Antonio Narro). Tratamientos = Generaciones.

Una vez más, al observar las medias de tratamiento (Cuadro A1) para estas variables, las generaciones de selección de BAP denotan una mejoría generacional en los contenidos de grasa y aceite; al comparar los ciclos 1994 y 2004 se documentan diferencias estadísticas válidas; el contenido de GC se incrementa en 47%, OL aumenta en 81%; y la relación OL/LN mejora en 5%, es decir, además de tener granos con más aceite, se incrementa significativamente el contenido de ácidos grasos insaturados, y aún mejor, con superioridad del ácido Oleico, asunto de importancia industrial.

La comparación de estos ciclos de BAP con el testigo VAN-210, ejemplo típico del maíz común, demuestra la calidad superior de BAP-2004 sobre aquél, al presentar cocientes positivos de 49%, 20% y 48%, variables: GC, OL, y OL/LN.

Lo relevante de BAP es que en la población se detecta más ácido graso oleico que linoleico, característica deseable, ya que el oleico es fácilmente digerible generando energía corporal útil en el humano y en algunos animales, además que disminuye el colesterol sanguíneo; también es útil en la industria aceitera que prefiere aceite de maíz con alto contenido en oleico debido ya que evita la rancidez, favoreciendo con esto la vida de anaquel del producto.

La población BAP ha mostrado desde la generación 1994 una buena relación oleico:linoleico, la cual se ha ido incrementando hasta llegar a sobrepasar la relación 1:1, condición superior a los valores reportados por Hallauer (1992) de 0.7 para maíz común. Es relevante señalar que aunque el HOC presentó aquí el mayor contenido de oleico, también lo fue el linoleico, alejándose de la relación 1:1, que es el mínimo deseable, desde el punto de vista industrial.

Calidad proteica: En cuanto a la calidad de proteína en semillas de BAP, se comparó el comportamiento de las cinco generaciones de selección y sus testigos, la población QPM y el criollo de la región sur de Saltillo. En el análisis se encontró que los porcentajes de PC, LI y TR, presentaron diferencias ($P \leq 0.01$) notables; ver Cuadro 4.4. Esto explica la diversidad genética de los genotipos, ya que la población QPM es un maíz con endospermo modificado, lográndose con ello un incremento en el contenido de lisina y triptófano, a diferencia de las generaciones BAP y el Criollo regional que no tienen manejo en este sentido.

Cuadro 4.4. Cuadros medios para las variables PC, cinco generaciones, y LI y TR, dos generaciones, población BAP. Análisis Químico del 2004.

F. de V.	g. l.	PC %	g. l.	LI ⁻¹	TR ⁻¹
Tratamientos	6	0.798**	5	4.536**	0.112**
Error	14	0.044	6	0.006	0.0006
\bar{x}		10.373		3.243	0.418
C. V.		2.035		2.421	5.770
\bar{x} mejor tratamiento		10.84		4.62	0.50
\bar{x} QPM		10.66		4.89	0.85
\bar{x} peor tratamiento		9.70		1.20	0.20
\bar{x} Criollo		9.76		1.77	0.25

** Diferencias significativas al 0.01 de probabilidad. ⁻¹ Gramos por 100 g de proteína cruda. Testigo 3 = QPM (quality protein maize: maíz de alta calidad proteica) y Testigo 4 = criollo regional

Como se dijo antes, en este trabajo se encontró que la población QPM contiene a los aminoácidos LI y TR en niveles de 4.89 y 0.85 g, que nominalmente son los más altos y coinciden con los reportados por otros investigadores (Pesev *et al.*, 1976; Vietmeyer, 1988; Vasal, 1994; Píxel y Bjarnason, 1993). Pero si se comparan estos valores con los obtenidos en la generación BAP-2004 se tendrá que el material QPM solamente la superó en 6 % para lisina, que es una diferencia no significativa. Como en el caso de NAP, considérese que BAP ha sido seleccionado solamente para incrementar el nivel de poliembriónía, resaltando así la importancia de esta población, ya que hace posible la capacidad de generar dos o más plantas por semilla y que ésta sea de alta calidad proteica.

Un aspecto importante a resaltar es que el material que obtuvo el mayor contenido de PC no fue el QPM, sino una generación de la población BAP, aunque la superioridad fue sólo de 1.7%. Esto reitera que no existe ninguna relación entre el porcentaje de proteína cruda y la calidad proteica en semilla de maíz.

Con base en las pruebas de medias de tratamientos y testigos, la igualdad que se presenta entre QPM y varias de las generaciones de BAP para las tres variables, es una condición que apoya la hipótesis de este trabajo, ya que al seleccionar hacia mayor poliembrionía, se selecciona indirectamente para calidad proteica, característica que repercutirá en calidad de producto, ya que el maíz es utilizado en formas distintas más que cualquier otro cereal.

Poblaciones normal y braquítica de baja poliembrionia (NBP y BBP)

Como contrapartes de las poblaciones NAP y BAP, muestras aleatorias de los grupos NBP (plantas de porte normal y baja poliembrionía) y BBP (plantas enanas y baja poliembrionía) se utilizaron para correr el mismo tipo de análisis ya descrito para las dos primeras poblaciones; como se asentó en Materiales y Métodos, tanto a NBP como BBP resultaron de la aplicación de selección reversa (en contra de la poliembrionía) a las poblaciones NAP y BAP con la finalidad de constituir sus poblaciones control; por ello, los datos disponibles para NBP y BBP se reducen a los años 2000, 2003 y 2004, donde la PE es de 10%, 6% y 5% respectivamente, frecuencias prácticamente bajas.

Esta condición de baja PE de las poblaciones NBP y BBP, en consistencia con la hipótesis del trabajo, deberá resultar en valores relativamente menores que el de sus poblaciones madre en cuanto a calidad nutricional de la semilla, ya que la selección reversa aplicada de manera efectiva en los dos casos que se aluden, tiende a normalizar a

las semillas hacia un embrión por entidad, y por lo tanto, a presentar niveles de nutrimentos seminales del nivel del maíz común.

Una vez más, los testigos para aceite fueron la población HOC, que se sabe posee un alto contenido de aceite en el grano de maíz, y a la variedad VAN-210 del IMM-UAAAN, representando al maíz común, cuyo contenido de grasa cruda es menor a 5%; y los testigos para calidad proteica fueron, la población QPM, que posee niveles altos de lisina y triptófano, y la variedad Criolla regional del sur de Saltillo, con valores menores en las variables de interés.

Si se toma en consideración los resultados de las generaciones de la población NAP, fuente de su contraparte NBP, en donde el aumento en poliembrionía permitió un aumento en los niveles de GC, OL y OL/LN; entonces, para NBP, reducida gradualmente en el nivel de poliembrionía de tiempo atrás a la fecha, también se esperaría una reducción gradual en sus valores de GC, OL y OL/LN, siendo menores en el ciclo más reciente, NBP-2004.

El análisis de varianza indica que las tres generaciones de la población NBP y los dos testigos para aceite presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) en las variables GC, OL y OL/LN, así como en PC, y los dos testigos que aplican para esta variable, ver Cuadro 4.5.

Cuadro 4.5. Cuadrados medios para las variables GC, OL, OL/LN y PC de la población NBP en tres generaciones y sus testigos. Análisis químico del 2004.

F. de V.	g. l.	GC %	OL %	OL/LN %	PC %
Tratamientos	4	10.516**	140.932**	0.035*	1.686**
Error	10	0.0132	4.276	0.008	0.309
\bar{x}		5.782	26.844	0.860	10.561
C. V.		1.984	7.70	10.672	1.665
\bar{x} peor tratam.		5.87	24.65	0.971	11.77
\bar{x} HOC		8.95	37.59	0.863	10.66
\bar{x} mejor tratam.		4.70	20.53	0.876	10.23
\bar{x} VAN-210		4.22	29.28	0.680	9.76

** Diferencias significativas al 0.01 de probabilidad. * Diferencias significativas al 0.05. Testigo 1 = HOC (high oil corn: maíz alto en aceite), testigo 2 = VAN-210 (Variedad Antonio Narro). Testigo 3 = QPM (quality protein maize: maíz de alta calidad proteica) y Testigo 4 = criollo regional. Tratamientos = generaciones.

La comparación de medias (Cuadro A1) con respecto a las variables de aceite en las generaciones NBP indican un descenso gradual a media que avanza la selección hacia menos frecuencia PE; en GC, el descenso en el periodo 2000 –2004 es de 25%; la variable OL baja 11%; y la relación OL/LN desciende en 5%, aunque sólo los dos primeros son significativos al 0.05% de probabilidad. Como se espera, los valores más altos y significativos de GC y OL corresponden al testigo HOC, perdiendo esta supremacía en la variable OL/LN, ya que sólo es superior al segundo testigo.

La variable PC (Cuadro A2), como se mencionó en los casos de los grupos BAP y NAP, los contenidos en grano de maíz se presentan en una banda estrecha, en este caso entre 9.8 y 11.8, y comúnmente no corresponden a una tendencia específica; estadísticamente, sólo es claro que el criollo regional es el de menor contenido de proteína cruda, pero el QPM y las tres generaciones analizadas de NBP son prácticamente iguales.

Por las razones expuestas al principio, los análisis de LI y TR sólo se practicaron en los dos testigos y en la generación NBP-2000; en todo momento el testigo QPM es superior a los otros dos grupos, y entre éstos, NBP-2000 es superior al Criollo regional en cuanto a LI, pero sólo igual en OL/LN. La cortedad de la información no deja margen a la discusión.

Con base en lo anterior y reconociendo que se cuenta con información insuficiente, los promedios observados en todas las variables relativas a aceite y la significancia estadística que se documenta, permiten establecer que en el grupo NBP, en la medida que disminuye su frecuencia en poliembrionía, se aleja cada vez más del testigo HOC, acercándose al testigo VAN-210; lo cual corrobora que al seleccionar hacia mayor poliembrionía se selecciona indirectamente hacia mayor contenido de GC y OL.

En la relación oleico : linoleico las tres generaciones NBP son iguales al testigo HOC, lo que puede deberse a que la poliembrionía tiene un efecto indirecto que favorece la concentración del ácido graso oleico en el grano, desapareciendo lenta y gradualmente al disminuir la poliembrionía; todo esto, a pesar de que los porcentajes de OL y LN son bajos en NBP comparados con la población madre NAP.

La población BBP se manejó y analizó de igual manera que NBP, con datos para las variables de aceite y PC en las generaciones 2000, 2003 y 2004, compartiendo los testigos para grasa y calidad proteica; sin embargo, a diferencia del caso en NBP, las

variables LI y TR contaron con datos de las generaciones BBP2000 y BBP-2003, utilizando como testigos a la población HOC, que cuenta con un alto contenido de aceite en el grano de maíz, y la variedad VAN-210 del IMM -UAAAN.

También aquí el enfoque es el mismo: si a partir de la población BAP se derivó la población BBP y, como se observó en la sección respectiva a BAP, cuando en ésta aumenta la poliembrionía, también aumenta el contenido de GC, OL, OL/LN, LI y TR en el grano; por otra parte, si en BBP se disminuyó el nivel de poliembrionía, entonces deberá esperarse también que disminuya los contenido de GC, OL, OL/LN, LI y TR; esto es, bajo la hipótesis de que el fenómeno de la poliembrionía está asociado con la calidad nutrimental del grano de maíz.

El análisis de varianza para las tres generaciones BBP y los dos testigos presentaron diferencias entre tratamientos ($P \leq 0.01$) para las variables relativas a aceite (Cuadro 4.6). Como en los casos anteriores, los genotipos de diverso origen y finalidad hacen marcada diferencia en sus contenidos de nutrimentos en grano de maíz, lo que sirve al propósito de estudio al tener referencias de contraste para los diversos ciclos de selección de la población.

Cuadro 4.6. Cuadrados medios para las variables GC, OL y OL/LN, de la población BBP en tres generaciones y sus testigos. Análisis químico del 2004.

F. de V.	g. l.	GC %	OL %	OL/LN %
Tratamientos	4	10.191**	175.029**	0.0316**
Error	10	0.017	4.313	0.0009
\bar{x}		5.842	25.906	0.859
C. V.		2.227	8.016	3.448
\bar{x} mejor tratamiento		4.7	18.79	0.899
\bar{x} HOC		8.95	37.59	0.863
\bar{x} peor tratamiento		5.92	23.22	0.945
\bar{x} VAN-210		4.22	29.28	0.682

** Diferencias significativas al 0.01 de probabilidad. Testigo 1= HOC (hig oil corn: maíz alto en aceite). Testigo 2 = VAN-210 (Variedad Antonio Narro). Tratamientos = generaciones.

Las pruebas de medias en el grupo BBP (Cuadro A1) indican una reducción gradual en las variables de aceite a medida que avanza la selección en contra de la PE ; al comparar las generaciones BBP-2000 y BBP-2004, ésta muestra una disminución de contenidos nutrimentales en grano de maíz como sigue: 22% en GC, 12% en OL, y 5% en OL/LN, significativas al 0.05, con excepción del caso en OL que es NS.

Los resultados con respecto a las variables de calidad proteica en BBP aparecen en los Cuadros 4.7, análisis de varianza para tratamientos, y A1, comparación de medias entre generaciones y testigos. Una vez más, la PC exhibe comportamiento errático, pero dentro de la banda ya señalada en los análisis de las otras poblaciones; aquí, como en los casos anteriores, la PC de las generaciones BBP se ubica entre 10 y 11%, superior ($P \leq 0.05$) al testigo Criollo regional, y también superior (algunas generaciones) o igual (otra generación) al grupo QPM. Sin embargo, el contenido de LI baja 9% ($P \leq 0.05$) de BBP-2000 a BBP-2003, aunque el nivel de LI de ésta última es 66% mayor a la encontrada en

el Criollo regional, quien contiene menos de 2 g de este aminoácido, típico en un maíz común. El comportamiento de TR en las dos generaciones BBP es a la baja, aunque no estadísticamente significativo.

Cuadro 4.7. Cuadrados medios para las variables PC, cinco generaciones, LI y TR, dos generaciones, población BBP. Análisis Químico del 2004.

F.de V.	g. l.	PC %	g. l.	LI ⁻¹	TR ⁻¹
Tratamientos	4	0.981**	3	3.327**	0.164**
Error	10	0.0349	4	0.0010	0.001
\bar{x}		10.491		3.190	0.422
C. V.		1.792		0.979	7.938
\bar{x} mejor tratamiento		11.26		3.18	0.32
\bar{x} QPM		10.66		4.89	0.85
\bar{x} peor tratamiento		10.08		2.92	0.26
\bar{x} Criollo		9.76		1.76	0.25

** Diferencias significativas al 0.01 de probabilidad. ⁻¹ gramos por 100 g de proteína cruda. Testigo 3= QPM (quality protein maize: maíz de alta calidad proteica) y el testigo 4 = criollo regional.

Como en el caso de NBP, los resultados en la población BBP presentan una tendencia a la baja en sus contenidos nutrimentales en grano, concomitante con la reducción en los niveles de poliembrionía, apoyando la hipótesis de asociación de estas variables con la dirección con que se seleccione la PE. Sin embargo, es conveniente señalar que las poblaciones control BBP y NBP, derivadas a partir de 1996 de las poblaciones madre, han exhibido una drástica y rápida reducción de la frecuencia PE, llegando a niveles menores o iguales a 5% en tan sólo ocho generaciones; por otra parte, la reducción en nutrimentos como GC, OL y LI, aunque con respaldo estadístico, no han disminuido de manera tan drástica como la observada en frecuencia PE; en este respecto, pareciera existir un efecto amortiguador para calidad nutritiva del grano, conferido por el resto del genoma de las poblaciones.

Como puede observarse en los diversos resultados de análisis de varianza, aplicados a las seis variables bajo estudio, en cada una de las poblaciones de interés poliembriónico, los Coeficientes de Variación, como una mediada crítica de lo idóneo de la experimentación aplicada, presentan valores muy inferiores a 20% confiriendo confianza en que los procedimientos seguidos a lo largo del estudio y la toma de datos de laboratorio, cumplen con los requerimientos de la técnica del ANVA.

Análisis de regresión lineal

Las evidencias significativas que documentan los análisis de resultados a través de ANVA's y pruebas de rango múltiple en las cuatro poblaciones de interés, le otorgan certidumbre a la hipótesis de trabajo en esta investigación, y permiten razonablemente suponer de la existencia de una relación de dependencia entre las generaciones de selección consideradas en este trabajo y las medias de cada una de las variables analizadas. En este interés, se corren análisis de regresión lineal simple para las variables GC, OL, OL/LN, y LI, en cada población bajo estudio.

Es claro que el número de datos con que se cuenta es reducido, por lo que esta parte de los análisis se considera preliminar; las poblaciones con más datos son BAP y NAP que cuentan con cuatro pares de datos, equidistantes con respecto a las generaciones, pero se les agregó el ciclo 2004, último dato de selección por considerarlo

de interés. Las poblaciones de baja PE, grupos BBP y NBP cuentan con datos insuficientes en la mayoría de los casos, por lo que se presentarán los que tengan verdadero sentido. En todos los casos, el nivel de significancia para la prueba de pendiente diferente de cero será igual o menor de 10%.

Población NAP: Para estimar la magnitud de la ganancia por selección en el caso de las cinco generaciones evaluadas, se aplicó un análisis de regresión, considerando el número de generaciones como la variable independiente y el contenido promedio de GC, OL y OL/LN como variables independientes. Es necesario aclarar que las variables de calidad proteica, LI y TR no contaron con datos suficientes en esta población, y la variable PC resultó no significativa.

La Fig. 4.1 muestra el comportamiento de GC a través de las generaciones, detectando entre ellas una relación lineal, con probabilidad de 93%. La condición es relevante, e indica que el manejo que se le ha dado a esta población poliembriónica permitió tener una ganancia de 0.37% de grasa por generación. La razón por la cual se obtuvo un coeficiente de determinación bajo, aunque aceptable, se debió a la dispersión de las observaciones con respecto a la ecuación de regresión, ya que GC mostró algunas variaciones con respecto a las generaciones 1994 (baja) y 2000 (la más alta). Evidenciando que la variable está influenciada en alguna medida por el manejo agronómico que se aplique al cultivo.

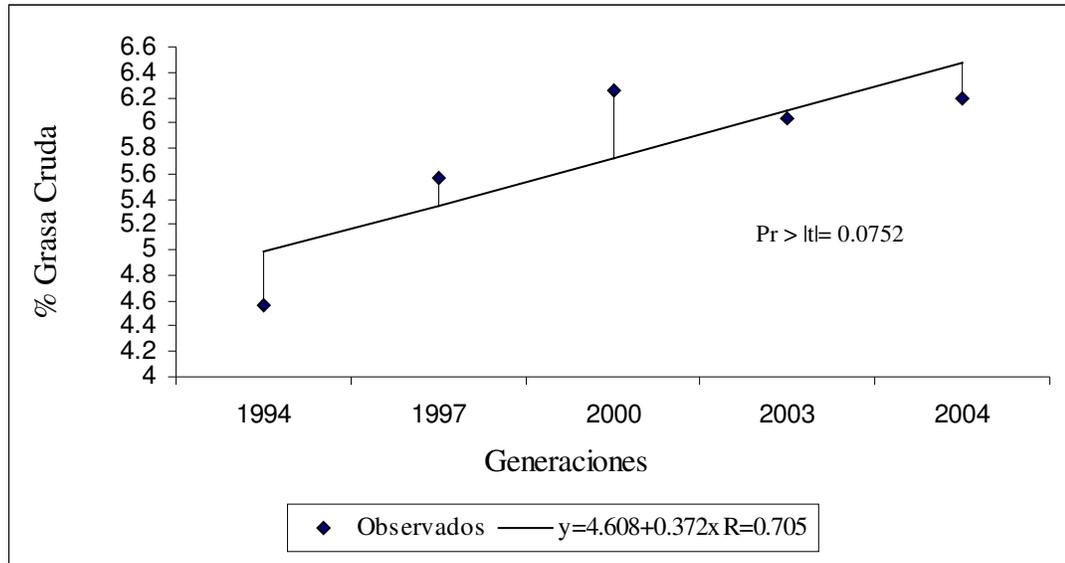


Fig. 4.1. Respuesta a la selección del por ciento de grasa cruda para la población NAP. Evaluadas en el 2004.

Para la variable OL también existió una relación lineal positiva con una probabilidad de 97% (Fig. 4.2) donde la selección permitió tener una ganancia promedio de 3% en ácido oleico por generación. Este incremento es de importancia ya que el OL, según Pandey y Garner (1992), es necesario en la dieta humana para el buen funcionamiento del organismo. De nueva cuenta, la generación 2000 presentó el valor más alto con respecto a la recta, lo que ocasionó que se redujera un poco el coeficiente de determinación, que presenta un valor muy aceptable ($R^2 = 0.831$). Ajustándose perfectamente a la recta sólo la generación 2003.

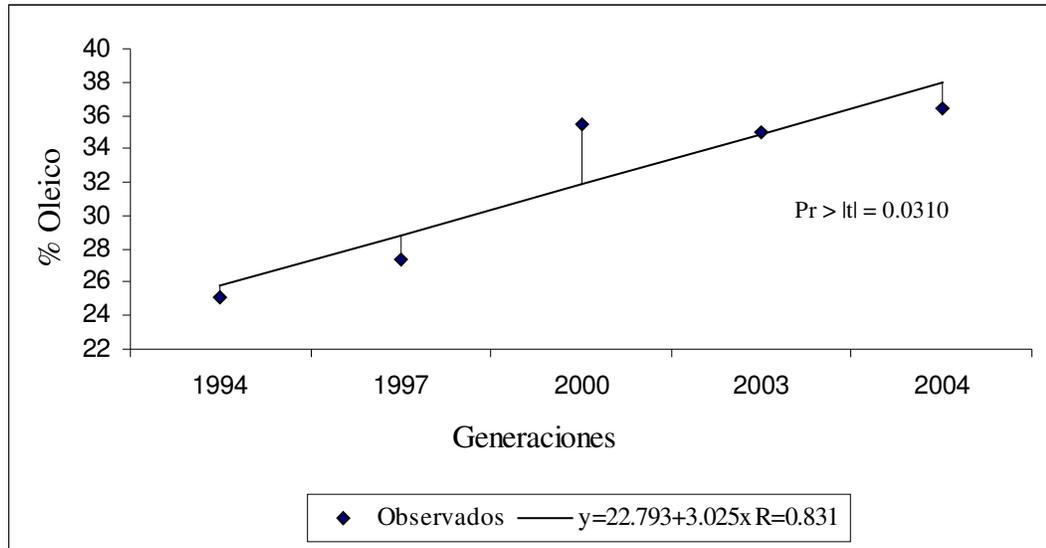


Fig. 4.2. Respuesta a la selección del por ciento del ácido graso oleico para la población NAP Evaluadas en el 2004.

En la Fig. 4.3 se puede observar la tendencia lineal positiva de la relación de los ácidos grasos oleico:linoleico (OL/LN) a través de las diferentes generaciones de selección; aunque esta relación se haya dado con una probabilidad del 91%, por la naturaleza de la variable, se obtuvo sólo un incremento por generación de baja magnitud (0.02%) pero de interés, ya que esta relación permite establecer la calidad del aceite; generalmente, se acepta el aceite de maíz como de alta calidad cuando el contenido del ácido graso oleico es superior al contenido de ácido graso linoleico según Can *et al.* (1999).

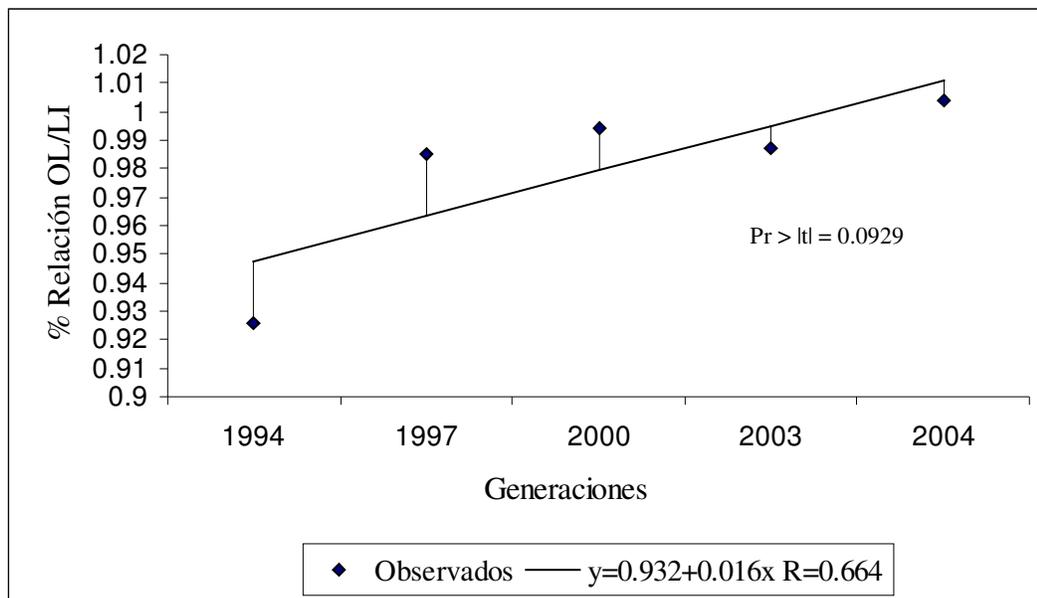


Fig. 4.3. Respuesta a la selección del por ciento de la relación OL:LI, para la población NAP. Evaluadas en el 2004.

Población BAP: Las diferencias significativas apreciadas entre generaciones mereció, como en el caso de NAP, un análisis de regresión lineal y detectar alguna relación entre las generaciones y el comportamiento de las variables bajo estudio, sean de aceite o calidad proteica.

Los resultados de regresión indicaron que la tendencia positiva de ascenso en estas variables fue significativa sólo para las variables ácido graso OL, y los aminoácidos LI y TR, por lo que no se documenta, estadísticamente apoyada, una respuesta asociada de GC, OL/LN ni PC a la ganancia por PE en la población.

El ácido graso: OL exhibió una relación lineal positiva, con 92% de probabilidad. En la Fig. 4.4 se puede apreciar que conforme se aumentaban los ciclos de selección para aumentar la poliembrionia en esta población, el contenido de OL también

aumenta en un 6.22% por cada ordenada generacional. Si esta ganancia se compara con la obtenida para la población NAP para OL, se puede establecer que BAP podría tener una mayor capacidad de incrementar el ácido graso oleico al incrementarse la poliembrionía.

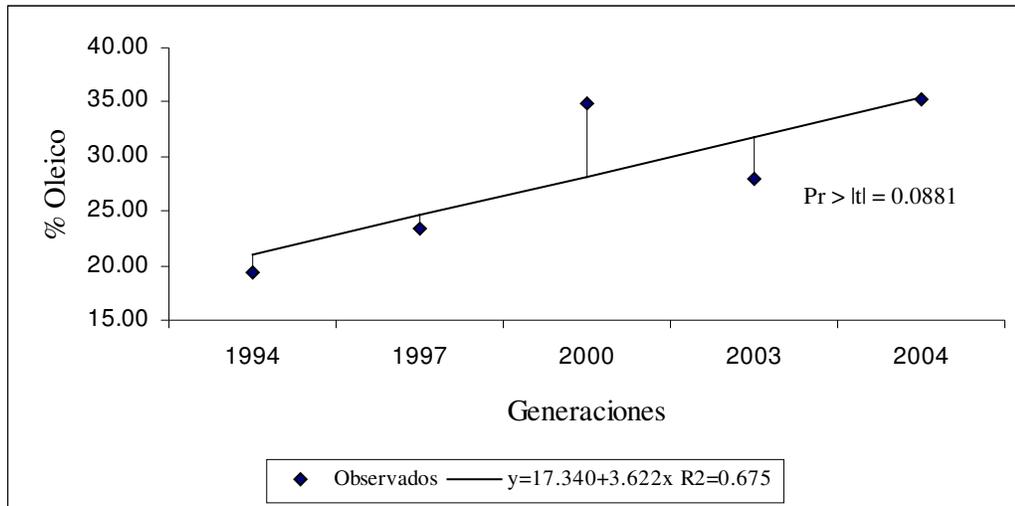


Fig. 4.4. Respuesta a la selección del por ciento del ácido graso oleico para la población BAP. Evaluadas en el 2004.

Aun 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 a PE.

A diferencia de PC, las variables LI y TR si presentaron una relación directa positiva con las diferentes generaciones (Figs. 4.5 y 4.6, respectivamente). La ganancia observada es de 1.095 g por tramo de selección para LI, mientras que TR presentó una relación exacta con las generaciones, mostrando una ganancia de 0.1 g por tramo ciclo. Estas condiciones demuestran la efectividad que ha tenido la selección recurrente en esta población, ya que se ha logrado un cambio en su estructura genética, mejorando

simultáneamente el nivel de poliembrionía y el contenido de estos dos aminoácidos esenciales. La razón de este incremento pudiera deberse a la presencia de dos o más embriones por semilla ya que en el embrión se concentra el 15% de la proteína, siendo además la de mayor calidad, y también a la capacidad de almacenar nutrientes del endospermo, quien suministra nutrientes a los embriones.

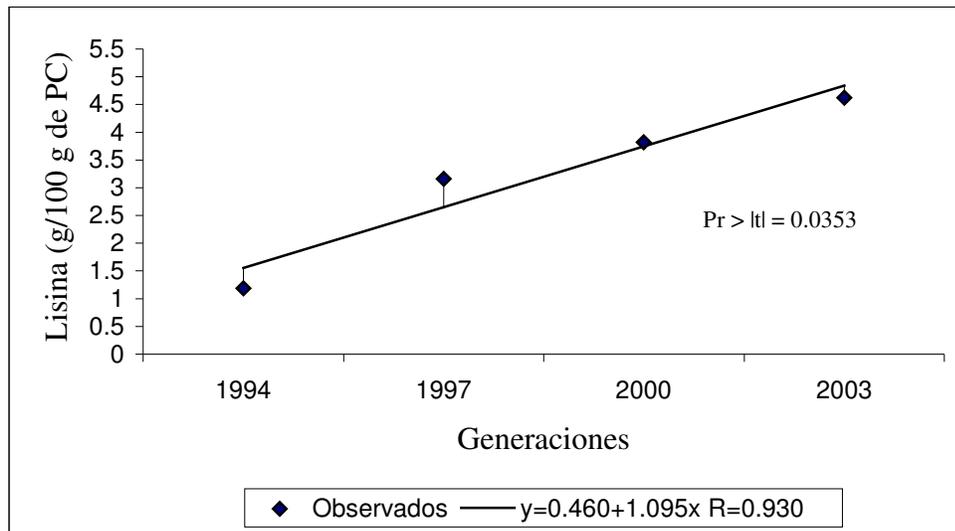


Fig. 4.5. Respuesta de LI a la selección para alta PE, población BAP, Análisis químico, 2004.

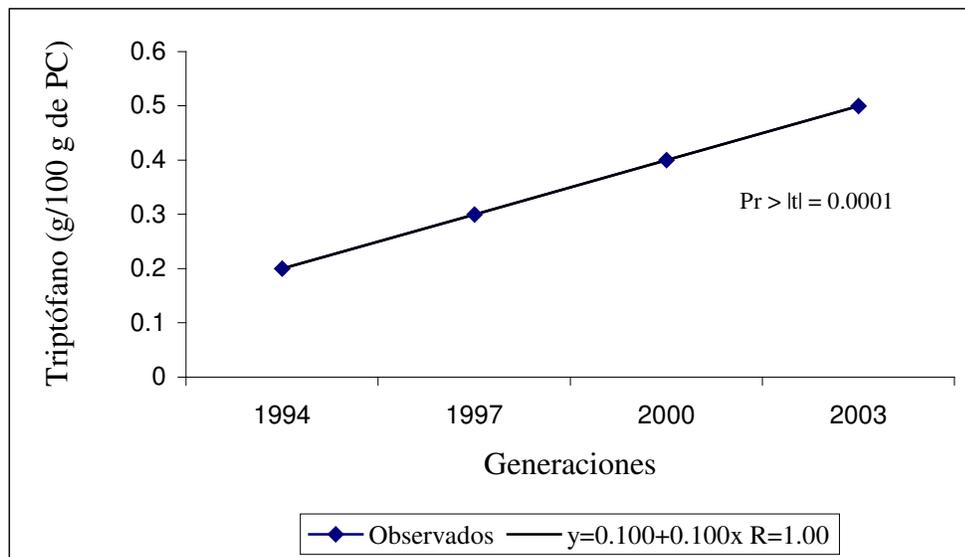


Fig. 4.6. Respuesta de TR a la selección para alta PE, población BAP. Análisis químico, 2004.

Poblaciones NBP y BBP: Para estas poblaciones control de NAP y BAP, la selección ha sido por lo contrario (menor PE), por lo que se esperaría una declinación de los valores en las variables estudiadas, sean relativas a aceites o a calidad proteica; en esta parte del estudio, como se dijo en la sección anterior, los datos corresponden a sólo tres tramos generacionales, explícitamente los correspondientes a 2000, 2003 y 2004, por lo que la técnica de regresión se aplica tan solo por ver una tendencia de las variables con respecto a la selección por menor poliembrionía, y valorar esta tendencia en función de la hipótesis de este trabajo, es decir, ubicar evidencias en cuanto a respuesta asociada entre la dirección de selección para la PE y calidad nutrimental del grano de maíz.

Al realizar la regresión lineal simple para la NBP (Fig. 4.7) se observa una relación lineal negativa al 93% de probabilidad, con respecto al nivel de poliembrionía y el contenido de grasa cruda GC, con un decremento de 0.585 % por cada tramo generacional; por lo tanto, al seleccionar en contra de la poliembrionía se selecciona indirectamente hacía menor por ciento de grasa cruda. Los análisis de regresión para OL y OL/LN carecieron de significancia estadística, aunque la tendencia fue hacia una relación negativa.

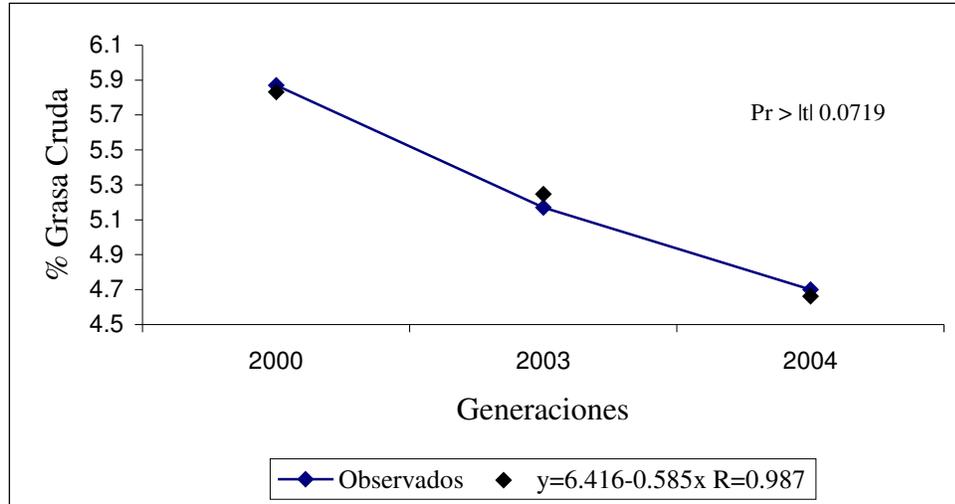


Fig. 4.7. Respuesta de GC a la selección para alta PE, población NBP. Análisis químico, 2004.

En la población BBP se realizó el análisis de regresión lineal simple para las tres variables GC, OL y OL/LN, pero solamente GC presentó significancia estadística con 94% probabilidad. En el análisis (Fig. 4.8.) se observa una relación lineal negativa del contenido de grasa cruda con respecto a la poliembriónía, disminuyó 0.525% en cada tramo generacional, selección en contra de la poliembriónía; por lo tanto, al seleccionar en contra de la poliembriónía, se logra una reducción significativa en GC.

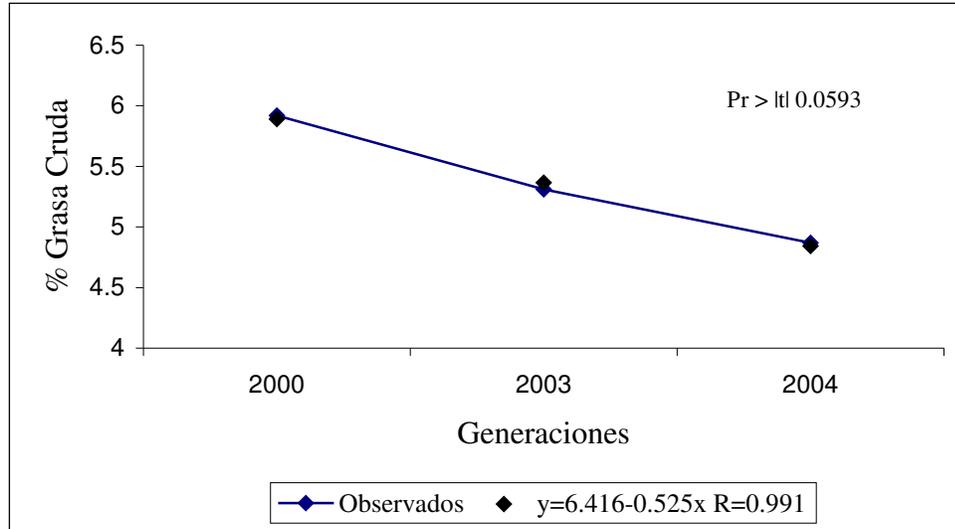


Fig. 4.8. Respuesta de GC a la selección para alta PE, población BBP. Análisis químico, 2004.

Poblaciones PE y sus testigos, generación 2000

Con el interés de diferenciar a los grupos PE, a favor o en contra de la poliembrionía, detectando correspondencia y diferencias en la respuesta a la selección y los valores de algunas de las variables bajo estudio, se hizo una análisis de varianza con los datos correspondiente al año 2000; utilizando como testigos para la variable grasa cruda (GC) la población HOC, de alto contenido de aceite, así como la variedad VAN-210 del IMM-UAAAN, útil a los agricultores temporaleros de la Región Ixtlera. Para la variable lisina (LI) se usaron como testigos la población QPM, de alta calidad proteica y un Criollo regional del sur de Saltillo.

En el Cuadro 4.8. se puede observar que los tratamientos (poblaciones), presentan diferencia altamente significativas lo que indica que las poblaciones poliembrionicas entre sí y comparadas contra los testigos, son diferentes, indicativo de

que la selección a favor y en contra de la PE ha tenido efectos significativos en la concentración de GC y LI.

Cuadro 4.8. Cuadrados medios y significancia de las poblaciones NAP, BAP, NBP y BBP de la generación correspondiente al año de selección del 2000.

F.de V.	g. l.	Grasa Cruda, GC	g. l.	Lisina, LI
Tratamientos	5	7.115**	5	2.489**
Error	12	0.038	6	0.031
X Gral.		6.325		3.110
C. V.		3.105		5.690

La comparación de medias de tratamientos vía por Tukey ($\alpha=0.05$) se presenta en el Cuadro 4.9. Como se sabe, los valores más altos de cada una de las variables corresponden a los testigos cuya cualidad es ser altos en GC y LI, como son las poblaciones HOC y QPM; también no es sorpresivo que los valores más bajos correspondan a los testigos de maíz común, VAN-210 y Criollo regional.

Por otra parte, los grupos sometidos a selección, generación 2000, presentan por un lado, valores altos, entre 6 y 7% en GC, y 2.6 a 3.8 g de LI, casos de BAP y NAP, lo cual los sitúa como grupos de calidad nutrimental del grano de maíz, aunque por debajo de los testigos selectos para alto aceite y lisina, muy superiores ($P \leq 0.05$) a los testigos de maíz común; mientras que los grupos seleccionados en contra de la PE, en esta generación, presentan valores declinantes en estas variables de calidad de grano, mostrando la efectividad de la selección por un lado y, por el otro, la correspondencia a la hipótesis de que la selección PE y la calidad de grano están asociadas. En este sentido,

la selección en contra de la PE, a la altura de la generación 2000, habría hecho perder entre 6 y 13% de GC en NBP y BBP; y de 4 a 17% de LI en estas poblaciones, comparadas con las selectas para más PE.

4. 9. Comparación de medias de Tukey ($\alpha= 0.05$). Año de selección 2005.

Tratamientos	GC	LI
NAP	6.25 ^{bc}	2.56 ^{cd}
BAP	6.74 ^b	3.82 ^b
NBP	5.87 ^c	2.45 ^{de}
BBP	5.92 ^c	3.18 ^{bc}
HOC ó QPM	8.95 ^a	4.89 ^a
VAN-210 ó Criollo	4.22 ^d	1.76 ^e

Parámetros Físico-Químicos

La evaluación de parámetros Físico-Químicos se practicó en los granos de maíz de las poblaciones de alta poliembrionía NAP (porte normal de alta PE) y BAP (porte braquítico de alta PE); así como sus contra partes NBP (porte normal de baja poliembrionía) y BBP (porte braquítico de baja PE) utilizando como testigos las poblaciones QPM (maíz de alta calidad proteica), HOC (maíz con alto contenido en aceite) y dos variedades Criollas del sur de Saltillo, utilizados por los agricultores de esa región.

A estos materiales se les determino el color de grano (CG), dimensiones del grano (DG) (largo, ancho, y espesor), peso de mil grano (PM), índice de flotación (IF), dureza (DU), propiedades térmicas del almidón (PTA), temperaturas de gelatinización (TGA), viscosidad (VA) y retrogradación (RA).

La finalidad del presente trabajo es saber la ubicación de los materiales PE con respecto a los testigos, en los cuales se desea establecer si la poliembriónía ha tenido un efecto en la composición de la matriz del almidón, lo cual se reflejará en los parámetros determinados.

Los resultados para CG se observan en la Figura 4.9, señalándose que el parámetro positivo de “a” corresponde a la escala del rojo y la negativa al verde, e indican que todos los maíces presentan un pericarpio blanco, ya que se agruparon en un intervalo de 1 a 6. En general, los maíces con pericarpio de color blanco no presentan variación en el parámetro “b”, el cual se refiere, , la escala positiva esta asociada con el color amarillo y la negativa con el azul; debido a la contribución de estos dos colores los granos clasificados como blancos, visualmente se observan color crema.

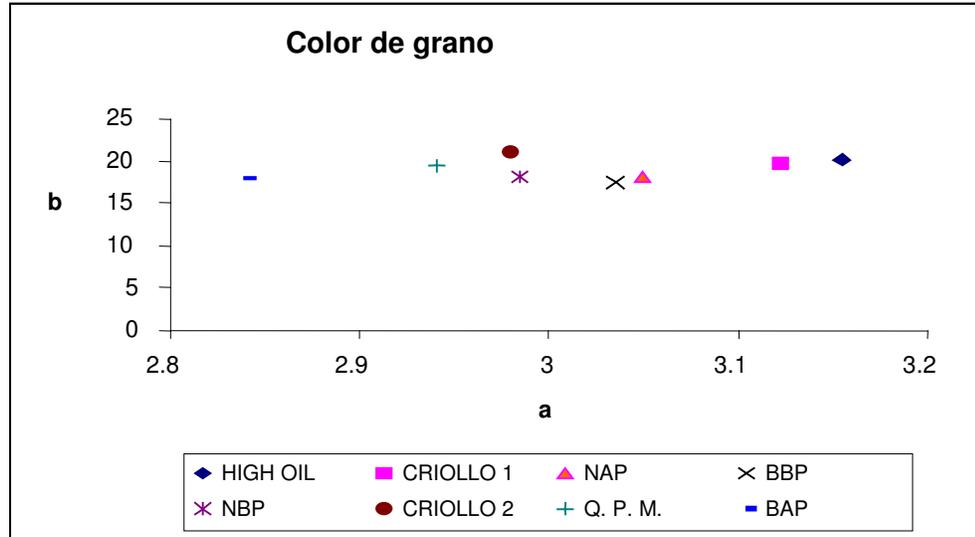


Fig. 4.9. Respuesta de CG a la selección para alta PE, población BBP. Análisis químico, 2004.

Un tercer factor para medir color es el eje “L”, el cual mide el grado de luminosidad, adjudicando un valor de 100 para el blanco perfecto. En este estudio, los ocho genotipos de maíz presentan un espectro de tonalidades diferentes para el blanco siendo el Criollo 2 el de tonalidad más blanca ya que tiene un valor más cercano a 100 (66.705) y el BBP presenta la tonalidad menos blanca (62.681), Figura 4.10.

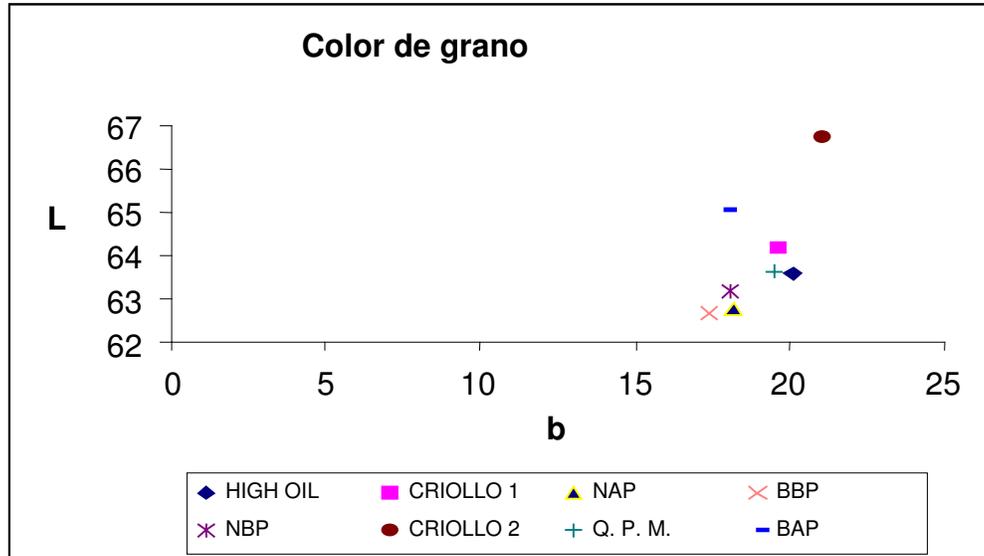


Fig. 4.10. Distribución de los ocho tipos de maíces de acuerdo al color del grano, el más blanco es el criollo 2 y el más crema es BBP.

La fuente DG, variantes largo, ancho y espesor de grano, se grafica en la Figura 4.11 y donde pueden apreciarse diferencias altamente significativas, condición que permitió formar diferentes grupos estadísticos de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). Presentando para el largo un rango de 10.41 a 12.96 mm, ancho de 8.45 a 9.79 mm y espesor de 3.72 a 4.55 mm. Al comparar estas tres variables se puede establecer que NBP, BBP, BAP y NAP, en este orden presentan un tipo de grano plano al ser mayor la diferencia entre el largo y el ancho, caso contrario a los Criollos 1 y 2 y al QPM que son granos menos planos, y el HOC que presenta un tipo de grano ovalado ya que la diferencia entre largo y ancho es muy baja. Siendo NBP y BBP los que presentan el mayor espesor.

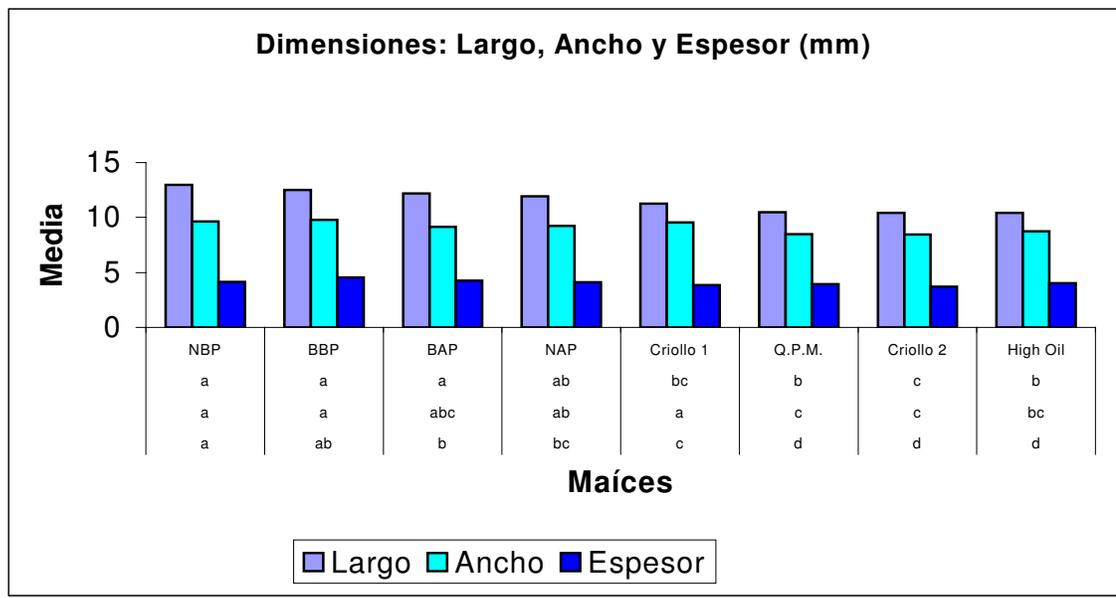


Fig. 4.11. Dimensiones del grano de maíz de los ocho genotipos evaluados.

Los materiales BBP y NBP, producto de la selección reversa a partir de BAP y NAP presentaron características deseables desde el punto de vista industrial; poseen un mayor tamaño de grano, característica que está relacionado con los rendimientos de molienda. Así, la industria molinera prefiere los granos uniformes y grandes ya que contienen una mayor proporción de endospermo.

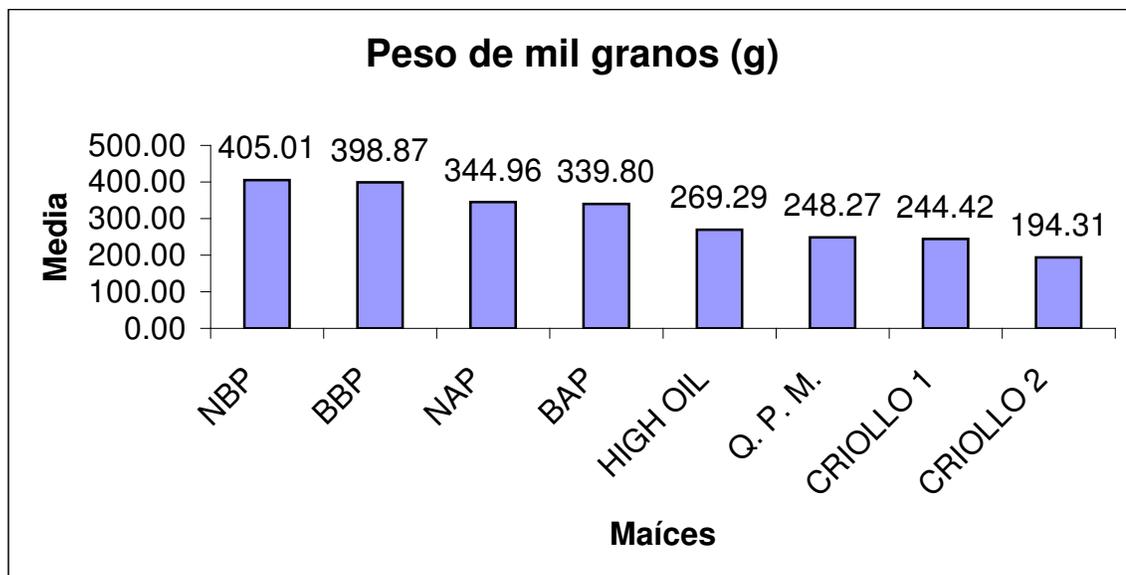


Fig. 4.12. Peso de mil granos de los ocho genotipos de maíz evaluados.

Como puede apreciarse, los materiales de interés poliembriónico presentan mayores pesos y tamaños, en comparación de los otros materiales utilizados como testigos, (Figuras 4.11; 4.12).

Con la Figura 4.13 se puede establecer la dureza de los materiales evaluados en base al índice de flotación, determinándose así, el tiempo de cocción de cada uno de los genotipos, presentados en el Cuadro 4.10.

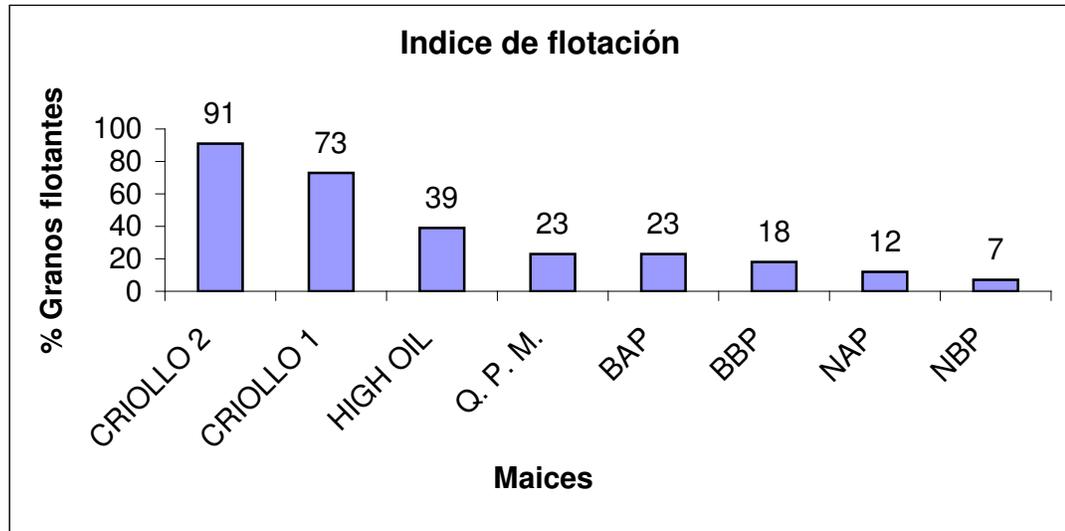


Fig. 4.13. Índice de flotación de los ocho genotipos de maíz bajo estudio.

Cuadro 4.10. Clasificación de los maíces, de acuerdo a su dureza y tiempo de cocción.

Genotipo	Dureza (Kg/f)	Tiempo de cocción (min)
NBP NAP	Muy duro	45
BBP BAP QPM	Duro	40
HIGH OIL	Intermedio	35
CRIOLLO 1	Suave	30
CRIOLLO 2	Muy suave	25

En la Figura 4.14, se puede apreciar que BBP es el material más duro seguido, de NBP, NAP y BAP; por otro lado, los testigos son de consistencia más suave; de éstos, el más suave resulto ser el Criollo 2. En base a la dureza de grano por este método que prueba la susceptibilidad al quebrado de grano, la clasificación es diferente a la que hace el índice de flotación (Fig. 4.13). Esta diferencia es muy notable en el material QPM, el

cual se clasifica en ambos métodos de manera diferente, ya que pasó de duro en el índice de flotación, a suave en la prueba de dureza.

El análisis de las variables índice de flotación y dureza son variables de interés debido a que son indicativos del tiempo de cocción del grano, ya que la industria harinera prefiere maíces de dureza intermedia para reducir los costos al disminuir el tiempo de cocción.

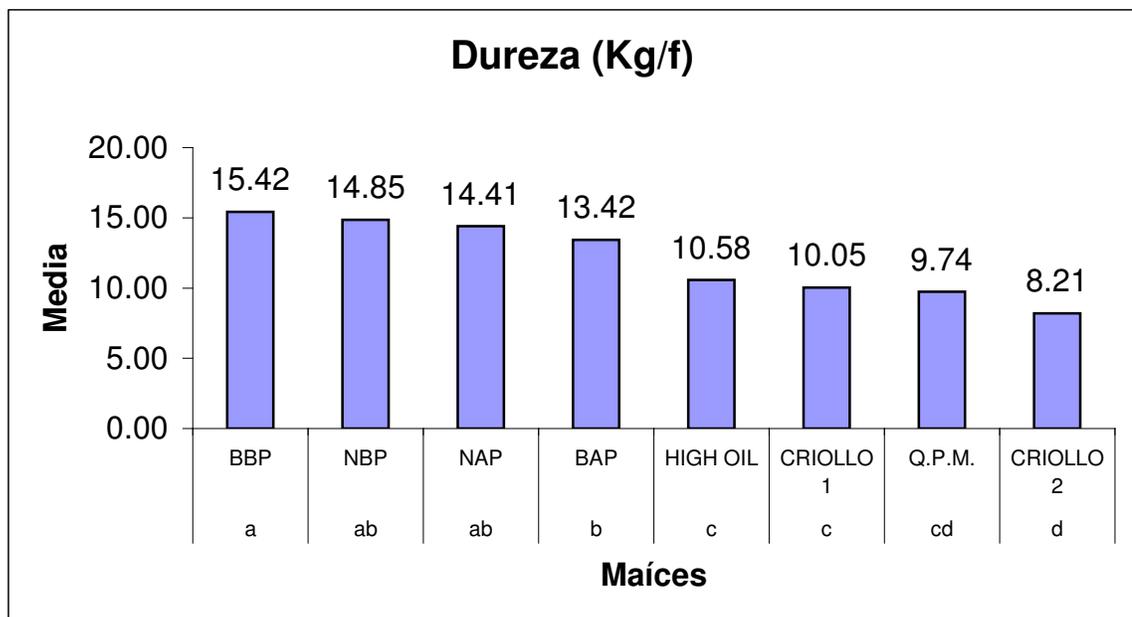


Fig. 4.14. Dureza de los ocho genotipos de maíz y comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$).

En este estudio se determinaron las propiedades térmicas de los almidones de los ocho genotipos, a través de la temperatura de gelatinización inicial (T_0), pico (T_p) y final (T_f). Sus perfiles térmicos se muestran en la Figura 4.15 y se observa que el almidón gelatinizó a diferentes temperaturas dependiendo entre otras cosas, de la textura del grano. Los maíces con más aceite (HOC) y mejor calidad proteica (QPM) presentan

la temperatura más alta de gelatinización, debido a que hay una interferencia molecular por un mayor contenido de aminoácidos y de aceite en estos materiales; la amilosa se intercala con la amilopectina formando una hélice en la cual en la parte central se introduce el aceite y las proteínas aumentando la temperatura de gelatinización. La temperatura de geletinización indica el inició del desorden molecular del almidón en un medio acuoso y bajo un incremento de temperatura, originándose la disociación de la hélice formada la amilosa amilopectina.

También es posible detectar que los cuatro maíces de interés poliembriónico se comportan de una manera similar, gelatinizando a 70 °C, mientras que los Criollos 1 y 2 son diferente entre sí y respecto a los otros maíces. La temperatura de geletinización en maíz es de 70 °C como referencia, y como indicativo de que la proporción amilosa amilopectina es de 25%:75%, respectivamente considerándose este valor como normal; y además, la industria harinera prefiere maíces con temperaturas normales ya que tienen que emplear menos energía para su cocción.

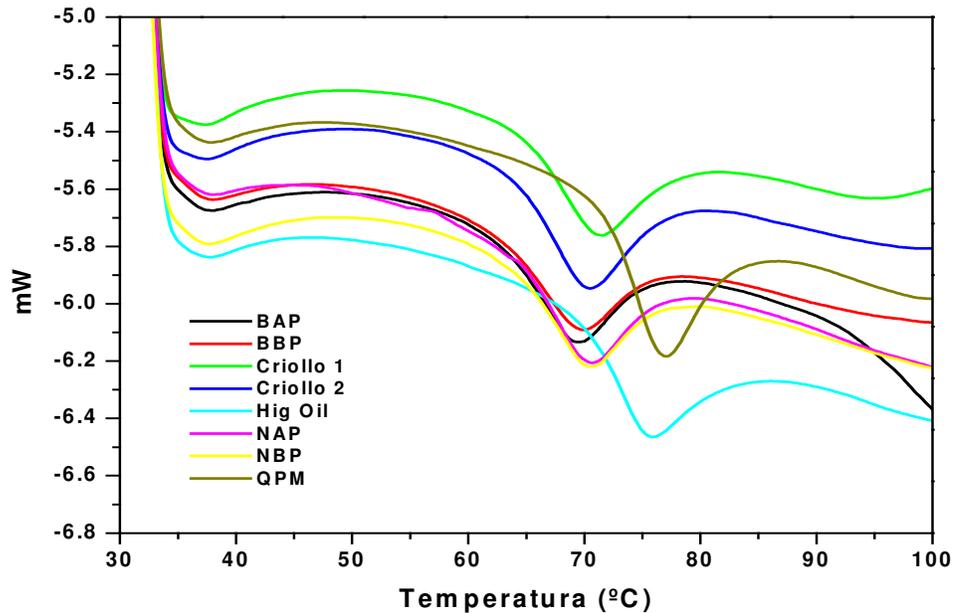


Fig. 4.15. Termogramas de almidón de los genotipos de maíz, obtenidos por DSC.

La viscosidad y retrogradación de los almidones se determinó a través de la viscosidad inicial (V_o), viscosidad máxima (V_m), temperatura de inicial de gelatinización (T_o), y temperatura pico de gelatinización (T_g). En la Figura 4.16 se observa que el almidón presentó diferente viscosidad y retrogradación. Fueron los maíces QPM y HOC los que presentan menor viscosidad y retrogradación; y la temperatura más alta de gelatinización, debido a la interferencia molecular que origina el alto contenido de proteína y de aceite en estos materiales, y no porque tengan mayor contenido de almidón. También es posible detectar que como en gelatinización, los cuatro maíces de interés poliembriónico se comportan de manera similar entre si, mientras que los Criollos 1 y 2 son diferentes a ellos y entre si.

La retrogradación es un aspecto importante en maíz si se desean emplear en nixtamalización; el almidón en un medio acuoso tiene la capacidad de hidratarse (viscosidad) y a una determinada temperatura a la cual se le denomina temperatura de gelatinización (70 °C), iniciar el desorden molecular; y al disminuir la temperatura el almidón se deshidrata regresando las moléculas a su estado original el cual es medido por la retrogradación, que es la capacidad que presentan los granos de almidón a permanecer en su misma condición, y esto se relaciona con la dureza de los productos después de someterlos a cocción y dejarlos enfriar, donde a mayor retrogradación menor dureza. Los maíces PE presentaron mayor capacidad retrogradar que los testigos.

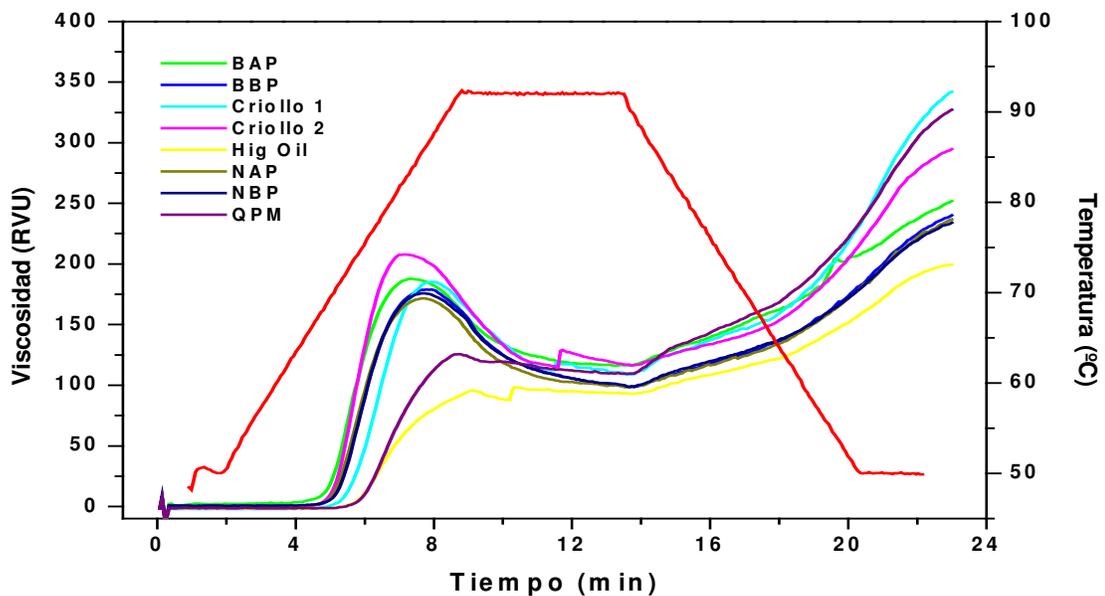


Fig. 4.16. Gráfica de viscosidad y retrogradación del almidón de los ocho genotipos.

CONCLUSIONES

Por medio de los análisis de laboratorio a través de diferentes técnicas, se determinaron las variables que son consideradas como de importancia nutrimental del grano de maíz para las ocho poblaciones en estudio, así como los testigos. En donde los testigos mejorados presentaron superioridad sobre los demás materiales.

Los materiales PE presentaron mayor peso por 1000 semillas, por lo tanto también presentan mayor tamaño. Siendo los de mayor dureza. En la determinación del color los ocho genotipos evaluados presentan pericarpio blanco con una contribución del color rojo y amarillo lo que da como resultado que visualmente se observen de color crema. Presentando una relación de amilosa amilopectina de 1:3.

La selección recurrente de medio hermanos permitió, además de incrementar el nivel de poliembriónia incrementó de una manera indirecta el contenido de ácidos grasos oleico y linoleico y de los aminoácidos lisina y triptófano en el grano de manera significativa.

RESUMEN

El maíz es de gran importancia para la alimentación humana y animal pero ésta sería mayor si el grano presentara mejor calidad nutricional; esto es, mejor calidad proteica que esta determinada por la concentración de los aminoácidos esenciales lisina y triptófano; por la calidad de su aceite que depende los ácidos grasos insaturados principalmente oleico y linoleico; y la relación que existe entre los carbohidratos amilosa y amilopeptina que cambia la consistencia del almidón que se ve reflejada en la dureza de grano y por lo tanto en el tiempo de cocción.

Cuando el grano de maíz presente más de un embrión, estaremos hablando del fenómeno de poliembriónia (PE), que en cierto grado, influye en la composición química del grano ya que este debe de tener la capacidad de nutrir a más embriones para generar plantas adultas. Por lo que los objetivos de este trabajo fueron: Cuantificar químicamente en grano completo de maíz los contenidos de ácidos grasos oleico y linoleico y los aminoácidos lisina y triptófano en poblaciones de maíz poliembriónico y sus controles; determinar las propiedades físico-químicas del grano de maíz en las poblaciones bajo estudio; cuantificar la ganancia por selección indirecta para contenido de ácidos grasos y aminoácidos en grano en asociación con la selección para frecuencias en poliembriónia.

El material de estudio fueron cinco generaciones de selección recurrente de familias de medio hermanos para grasa cruda (GC) y ácidos grasos oleico (OL) y la relación oleico/linoleico (OL/LN); y cuatro generaciones para proteína cruda (PC), y los aminoácidos lisina (LI) y triptófano (TR), de cuatro poblaciones de maíz, en donde dos de ellas, han sido seleccionadas hacia mayor PE alcanzando para la última generación (2004) 60% de PE; una esta conformada por plantas de porte normal (NAP) presentando un incremento de PE anual de 1.2%; y la otra, formada por plantas braquíticas (BAP) su incremento a sido de 1.4% anual. Las otras dos poblaciones, también de porte normal y enano, se han seleccionado en contra de la PE (NBP y BBP, respectivamente), llegando a expresarse el fenómeno, en la última generación solo en 5%; utilizando como testigos y material de referencia a una población con alto contenido de GC (HOC; Hig Oil Corn), y otra con calidad proteica en LI y TR (QPM; Quality Protein Maize), y en contraparte a una población criolla del sur de Saltillo y la variedad Antonio Narro VAN-210.

Siendo analizadas las generaciones de selección para cada población bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones para las variables GC, OL, OL/LN y PC y dos para LI y TR. Incluyéndose un análisis de la generación 2000 donde se compararon la seis poblaciones. Estimando la ganancia o pérdida por ciclo de selección a través de la regresión lineal simple. Haciendo comparación de medias por Tukey ($P < 0.05$). Por último se describen la caracterización físico-química de los granos para la población PE de la generación 2000.

En cada población, las generaciones con los testigos, mostraron diferencias ($P < 0.01$) en todas las variables en estudio, debido a la diversidad existente entre los tratamientos, ya que provienen de programas generados por diversos investigadores y con propósitos diferentes. **Para aceite:** que se aborda a través de los contenidos de GC,

OL, y la relación OL/LN; como era de esperarse, el HOC presentó superioridad sobre los demás tratamientos; sin embargo, NAP y BAP que sólo han sido seleccionadas para incrementar el nivel de PE presentan un comportamiento sobresaliente y gradual en ascenso a través de las generaciones con ganancias reales en cuanto a GC, OL y OL/LN de 36%, 45% y 8%, respectivamente (NAP) y de 47% 81% y 5% para BAP.

Para NBP, la disminución de GC fue de 25%, de OL se estimó en 11% y la relación OL/LN fue del 5%. En BBP esta reducción fue de 22 para GC, 12% para OL y 5% para la relación.

En cuanto a calidad proteica: se abordó a través de los contenidos en grano de las variables PC, LI y TR. La población QMP, presentó superioridad en cuanto a la calidad proteica, debido a que ha sido seleccionada específicamente para alta concentración de LI y TR, mientras que en las poblaciones NAP y BAP se observa que la selección hacia mayor PE influye de alguna manera en el contenido de LI y TR. La población NAP superó al QPM en el por ciento de PC; sin embargo lo importante en este tema es la calidad en contenidos de aminoácidos esenciales ya que el por ciento de PC es común que cambie en una banda estrecha entre diferentes maíces, e incluso por diferencias en el manejo agronómico. Para LI y TR sólo se utilizaron datos de dos generaciones (1994 y 2000), siendo NAP 2000 superior en 41.82% y 32.36% respectivamente.

En BAP para LI la generación 2004 fue superada por el QPM solamente en 6% que es una diferencia no significativa; y para PC el mayor contenido lo presentó la generación 1997, aunque la superioridad fue de sólo del 1.7%. Para NBP los contenidos de PC no se presentó una tendencia específica, pero las tres generaciones son casi iguales al QPM; solo es claro que el criollo regional es el de menor contenido de PC; los análisis de LI y TR sólo se analizó la generación 2000; en todo momento el testigo QPM es superior a

los otros dos grupos, la cortedad de la información no deja margen de discusión. Para BBP la PC se ubica entre 10 y 11% superior al testigo criollo. Sin embargo, el contenido de LI baja 9% de BBP 2000 a 2003 y el TR en las generaciones es a la baja, aunque es estadísticamente no significativo (NS).

Para los análisis de regresión en la población NAP no se contó con datos suficientes para LI y TR y PC resultó NS; mientras que la variable GC con una probabilidad de 93%, mostró una ganancia de 0.37% de GC por ración, para OL con una probabilidad de 97% se obtuvo una ganancia de promedio de 3% por generación. La relación OL/LN con una probabilidad de 91% se obtuvo sólo un incremento por generación de baja magnitud (0.02%) pero de interés. En la población BAP, OL con 92% de probabilidad aumentó 6.22% por generación. LI presentó una ganancia por generación de 1.095 mientras que TR presentó una relación exacta con las generaciones, mostrando una ganancia de 0.1 g. Estas condiciones demuestran la efectividad que ha tenido la selección recurrente en esta población ya que se ha logrado un cambio en su estructura genética mejorando simultáneamente el nivel de PE y el contenido de estos dos aminoácidos. En NBP se observó una relación lineal negativa al 93% de probabilidad con un decremento de 0.585% por generación; por lo tanto al seleccionar en contra de la PE se selecciona indirectamente hacia menor por ciento de GC, los análisis de regresión para OL y OL/LN carecieron de significancia estadística, aunque la tendencia fue hacia una relación negativa. Para BBP solamente GC presentó significancia estadística; observándose una relación lineal negativa del contenido de GC con respecto a la PE con 94% de probabilidad, con una disminución de 0.525% por generación.

Con la finalidad de detectar diferencias entre los grupos PE se realizó el análisis de varianza correspondiente a la generación 2000 para las variables GC y LI; donde se presentaron diferencias ($P < 0.01$) lo que indica que las poblaciones PE entre sí y comparadas contra los testigos, son diferentes, indicativo de que la selección a favor y en contra de la PE ha tenido efectos significativos en la concentración de GC y LI.

Dentro de los Parámetro Físico-Químicos se evaluó el color del grano obteniendo que los maíces PE y testigos presentan un espectro de tonalidades diferentes para el blanco; las dimensiones del grano: largo, ancho y espesor (mm) los materiales de interés PE al presentar un mayor tamaño de grano están en ventaja con los demás ya que el tamaño esta relacionado con los rendimientos de la molienda. Para peso de mil granos, los materiales PE presentaron un mayor peso; las materiales de porte normal se clasificaron como muy duro con un tiempo de cocción de 45 minutos mientras que los braquítrico como duros con un tiempo de cocción de 40 minutos. Los testigos HOC y QPM presentaron la temperatura más alta de gelatinización, debido a que hay una interferencia molecular por un mayor contenido de aceite y aminoácidos; los maíces de interés se comportan de manera similar, galetinizando a los 70°C temperatura que es indicativo de que la proporción amilosa amilopeptina es de 1:3; los maíces HOC y QPM tienen menor viscosidad, retrogradación y una mayor temperatura de gelatinización, debido a la interferencia molecular que presentan y no porque tengan mayor contenido de almidón, los maíces PE se comportan de manera muy similar en los tres parámetros medidos.

Por lo anterior se obtuvieron las siguientes conclusiones: Se determinaron las variables que son consideradas como de importancia nutrimental del grano de maíz

donde los testigos mejorados presentaron superioridad sobre los demás materiales; los materiales PE presentaron mayor peso por 1000 semillas, por lo tanto también presentan mayor tamaño. Siendo los de mayor dureza.. En la determinación del color los ocho genotipos evaluados presentan pericarpio blanco con una contribución del color rojo y amarillo lo que da como resultado que visualmente se observen de color crema. Presentando una relación de amilosa amilopectina de 1:3; la selección recurrente de medio hermanos permitió, además de incrementar el nivel de poliembrionia incrementó de una manera indirecta el contenido de ácidos grasos oleico y linoleico y de los aminoácidos lisina y triptófano en el grano de manera significativa.

Literatura Citada

Amadori, M. 1989. Ácidos grasos esenciales. *Divulgación* 14:76-78.

AOAC, 1980. Métodos oficiales de análisis. Association of Official Agricultural Chemists. 15th e. Virginia, USA. 1990.

Allard R. W. 1967. Principios de la mejora genética de las plantas. Ed. Omega. pp. 300- 303.

Atwell, W. A., Hood, L. F., Lineback, D. R., Variano-Marston, E. and Zobel, H. F. 1988. The terminology and methodology associated with basic starch. *Cereal Chem.* 65 (89):123-130.

Bernardini E. 1981. Tecnología de aceites y grasas. Ed. alhambra. España 72-94.

Biliaderis, C. G. 1990. Thermal analysis of food carbohydrates. In *Thermal Analysis of Foods*. Elsevier Applied Science Publisher, New York, USA. pp: 168-220.

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

Can, H. *et al.*, 1999. Identification of de soluble starch synthesis activities of maize endosperm, *Plant phisiol.*126,205,199

Castro, G. M. 1973. Incremento del carácter doble embrión. *Boletín Técnico* No. 1 Escuela superior de Agricultura Antonio Narro. Buenavista. Saltillo Coah. Mex. pp.47.

- Castro, G. M. 1979. Estudio sobre herencias y valores nutritivos de semillas con doble embrión, Avances de investigación en maíz. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista. Coah. Mex. pp. 24-25.
- De León, C. And Pandey, S. 1989. Improvement of resistance to ear and stalk roost and agronomic traits in tropical maize gene pools. *Crop Sci.*, 29: 12-17.
- Dudley, J. W., Lambert, R. J. and Alexander, D. E. 1974. Seventy generations of selection for oil and protein concentration in the maize kernel. *In* J.W. Dudley, ed. Seventy generations of selection for oil and protein in maize. Madison, WI, USA, Crop Science Society of America.
- Dudley, J. W. and Lambert, R. J. 1977. Ninety generations of selection for oil and protein in maize. *Maydica*, 37: 81-87.
- Espinoza, Vega y Jasso. 1998. Poliembionía en maíces de porte normal y enano. *Agronomía Mesoamericana* 9 (2): 83-88.
- Espinoza, V. J. y Del Bosque C. J. 1999. Memoria del 2do. Taller Nacional de Especialidades de Maíz. Notas científicas. Saltillo, Coahuila.
- Espinoza V., J. y M.C. Vega S. 2000. Maíces de alta frecuencia poliembriónica.
- Feed&Grain. 1998. La influencia del maíz alto en aceite en los alimentos para aves. *Revista para fabricantes de alimentos balanceados, operaciones integradas y procesadores de grano.* pp. 4-7.
- Freeman, J. E. 1973. Quality factors affecting value of corn for wet milling *Trans. ASAE* 16:671.

- Gómez, J. R. 1983. Estudio sobre herencia y valor nutritivo de semilla de maíz con doble embrión. Avances de investigación en maíz. Instituto Mexicano del Maíz Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista , Saltillo Coah, Méx.
- Gómez, M. H., Lee, J. K., Waniska, R. D., and Rooney, L.W. 1993. Effects of nixtamalization and grinding conditions on the starch in masa. Cereal Foods World. pp 321.
- Granados, G., Pandey, S. and Cevallos, H. 1993. Response to selection for tolerance to acid soils in a tropical maize population. Crop Sci., 33: 936-940.
- Hallauer, A. R., and J. B. Miranda. 1981. Quantitative Genetics in maize Breeding. Ed. Ames, Iowa, U.S.A. The Iowa States University Press. pp.14.
- Hallauer, A. R. 1985. Compendium of recurrent selection and their application. Eds Crit. Rev. Plant Sci., 3: 1-33.
- Hallauer, A. R. and Miranda, J. B. 1988. Quantitative genetics in maize breeding, 2nd ed. Eds. Ames, IA, USA; Iowa State University Press.
- Hallauer, A. R., Russell, W. A. and Lamkey, K. R. 1988. Cor breeding. In G. F. Sprague and J. W. Dudley, eds. Corn and corn improvement, pp. 463-564. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy.
- Hallauer, A. R. 1992. Recurrent selection in maize Plant Breeding Rev., 9: 115-179.
- Hernández, J. M. 1986. Estudio de Caracteres Químicos del Grano de las Razas Mexicanas de Maíz y Clasificación Racial. Tesis de maestría. Colegio de posgraduados. Chapingo, Mex. pp: 11-12.
- Husek P. 1991. Rapid derivatization and gas chromatographic determination of amino acids. Journal of Chromatography. 552: 289-299.

- Jugenheimer, W. R. 1981. Maíz: Variedades mejorada, métodos de cultivo y producción de semilla. Edt. Limusa, México.
- Jugenheimer, R. W. 1985. Cor improvement, seed production and uses. Malabar, FL, USA, Robert E. Krieger Publishing.
- Karaptansions, T. D., Sakonidou, E. P. and Raphaelides, S. N. 2000. Electrical Conductance Study of Fluid Motion and Heat Transport During Starch Gelatinization J. Food Sci. 65 (1):144-150.
- Lehninger, L. A. 1981. Bioquímica de las bases moleculares de la estructura y función celular. Ed. Omega. pp. 285-292.
- Magnavaca, R., Oliveira, A. C., Morais, A. R., Gama, E. E. and Santos, M. Dd. 1989. Family hybrid selection of quality protein maize. Maydica, 34: 63-71.
- Magnavaca, R., Larkins, B.A., Schaffert, R.E. and López, M.A. 1993. Improving protein quality of maize and sorghum. International crop science I, p. 649-653. Madison, WI, USA, Crop Science Society of America.
- Márquez S, (1988). Genotecnia Vegetal tomo II, AGT editor, S. A. pág 271.
- Mertz, T. E., Bates, L.S. and Nelson, O. E. 1964. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. Science, 145: 279-280.
- Mertz, T. E. 1989. Bioquímica Ed. Publicaciones cultural. pp. 37-45.
- Moreno, G. J. and Cubero, J. I. 1993. Selection strategies and choice of breeding methods. *In* M. D. Hayward, N. O. Bosemark and I. Romagosa, eds. Plant breeding: principles and prospects, pp. 281-313. London, Chapman and Hall.

- Morgan, D. T.; and Repley, R. D. 1951. Polyembiony in Maiz and Lily, following x-irradiation of the Pollen. *Jour. Hered.* 41:90-93.
- Museo Nacional de Culturas POPULARES. 1982. El Maíz. Fundamento de la Cultura Popular Mexicana. SEP. Cultura GV. Editores. México, D. F. pp. 114.
- Paliwal, R.L. & Sprague, E. W. 1981. Improving adaptation and yield dependability in maize in the developing world. DF., CIMMYT.
- Pandey, S., Vasal S. K., De León, C., Ortega, A., Granados, G. and Villegas, E. 1984. Development and improvement of maize populations. Eds. *Genetika*, 16: 23-42.
- Pandey, S. and Garner, C. O. 1992. Recurrent selection for population, variety, and hybrid improvement in tropical maize, Eds. *Adv. Agron.*, 48: 1-87.
- Pesev, N. R and Petrovic, L. 1976. Study of possibility in Raising Maize Inbred Lines with Two Embryos. *Theoretical and Applied Genetics* 47: 197-201
- Paternianni, E. 1990. Maize breeding in the tropics. *Crit Rev. Plant Sci.*, 9:; 125 – 154.
- 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.
- Reid E. and Jamieson G. R. 1965. The análisis of oils and fats by gas chromatography. *Journal of chromatography*, 17:230-237.
- Rodríguez, H. S y Castro, G. 1978. Estudio sobre herencia de semilla con dos embriones. *Avances de investigación en maíz*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coah. Mex. pp. 19.

- Rodríguez, H. S. 1981. Determinación de la heredabilidad y efectos de la selección para el carácter doble embrión en maíz (*Zea mays* L.) Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. Mex. pp.48.
- Routh, J. I. 1985. Química orgánica y bioquímica. Ed. Interamericana. pp. 231-234.
- Sprague, G.F. &, Eberhart, S.A. 1977. Corn breeding. In G.F. Sprague, ed. Corn and corn improvement, p. 305-362. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy.
- Thomas, J. D. and Atwell, W. A. 1999. Starches. American Association of Cereal Chemists, Inc (ed). St. Paul, Minnesota, USA. pp. 28.
- Trease G. E., and Willia C. E. 1982. Farmacognosia. Ed. Alhambra, México, pag 720-727.
- Vasal, S. K., Villegas, E., Bjarnason, M., Gelaw, B. and Goertz, P. 1980. Genetic modifiers and breeding strategies in developing hard endosperm opaque-2 materials. In W.G. Pollmer & R.H. Phipps, eds. Improvement of quality traits of maize for grain and silage use, pp. 37-71.
- Vasal, S. K., Ortega, A. C. And Pandey, S. 1982. CIMMYT's maize germplasm management, improvement and utilization program. México, DF, CIMMYT.
- Vasal, S. K. 1994. High quality protein corn. In A.R. Hallauer, ed. Specialty corns, p. 79-121. Boca Raton, FL, USA, CRC Press.
- Vietmeyer, N. D. 1988. Quality protein maize. Report of an Ad Hoc Panel of the Advisory Committee on Technology Innovation, Board on Science and Technology for International Development, National Research Council, USA. Washington, DC, National Academic Press.

Villegas, E., Vasal, S. K. and Bjarnason, M. 1992. Quality protein maize - what is it and how was it developed. In E.T. Mertz, ed. Quality protein maize, p. 27-48. St Paul, MN, USA, The American Association of Cereal Chemists.

Webber, J. M. 1940. Polyembryony. The Botanical Review. Vol. VI No. 1:575-594.

Wydstrom, N. W. and Jellem, M.B, 1976. Chromosomal location of genes controlling oleic and linoleic acid composición in the germ oil of two maize inbreds, crows crop Sci. 24: 1113, 1984.

Windstrom, N. W and Jellum, M. D. 1984. Crop Sci 24:1113-1115.

Zobel, F. H. 1984 Starch Gelatinization and Mechanical Properties In: Chapter IX. Starch. Chemistry and Technology 2da. Ed. Whistker, R. L. Miller, J. C. and Paschall, E. F. (eds). USA. pp. 285-307.

APENDICE

Cuadro A1. Comparación de medias por Tukey ($\alpha=0.05$) por población a través de diferentes generaciones de selección, comparadas con los testigos HOC y VAN-210, para la variables grasa cruda (GC), oleico (OL), relación oleico:linoleico (OL/LI). Análisis químico durante 2004.

Población	Generaciones	GC %	OL %	OL/LI %	
NAP	94	4.57 ^d	25.11 ^c	0.926 ^{bc}	
	97	5.56 ^c	27.31 ^c	0.984 ^{ab}	
	00	6.25 ^b	35.51 ^a	0.994 ^a	
	03	6.04 ^{bc}	35.04 ^{ab}	0.987 ^{ab}	
	04	6.20 ^b	36.37 ^a	1.004 ^a	
	Testigos	HOC	8.95 ^a	37.59 ^a	0.863 ^c
		VAN-210	4.22 ^d	29.28 ^{bc}	0.682 ^d
BAP	94	4.27 ^e	19.46 ^d	0.965 ^{bc}	
	97	5.24 ^d	23.39 ^{cd}	0.953 ^{bc}	
	00	6.74 ^b	34.91 ^{ab}	0.989 ^{ab}	
	03	6.32 ^c	28.01 ^c	0.974 ^{bc}	
	04	6.27 ^c	35.26 ^{ab}	1.010 ^a	
	Testigos	HOC	8.95 ^a	37.59 ^a	0.863 ^c
		VAN-210	4.22 ^f	29.28 ^{bc}	0.682 ^d
NBP	00	5.87 ^b	24.65 ^{bc}	0.906 ^{ab}	
	03	5.17 ^c	20.53 ^c	0.971 ^a	
	04	4.7 ^d	22.17 ^c	0.876 ^{ab}	
	Testigos	HOC	8.95 ^a	37.59 ^a	0.863 ^{ab}
		VAN-210	4.22 ^e	29.28 ^b	0.680 ^b
BBP	00	5.92 ^b	23.22 ^c	0.945 ^a	
	03	5.25 ^c	18.79 ^c	0.903 ^{ab}	
	04	4.87 ^d	20.66 ^c	0.899 ^{ab}	
	Testigos	HOC	8.95 ^a	37.59 ^a	0.863 ^b
		VAN-210	4.22 ^e	29.28 ^b	0.682 ^c

Tratamientos con letras iguales son estadísticamente iguales
 Testigo 1= HOC (high oil corn); testigo 2 = VAN-210

Cuadro A2. Comparación de medias por Tukey ($\alpha=0.05$) por población a través de diferentes generaciones de selección, comparadas con los testigos QPM y el criollo de sur de saltillo, para las variables PC (proteína Cruda), lisina (LI) y triptófano (TR). Análisis químico durante 2004.

Población	Generaciones	PC %	LI ⁺	TR ⁺	
NAP	94	10.70 ^{ab}	1.55 ^c	0.23 ^b	
	97	10.63 ^b	nd	nd	
	00	9.28 ^c	2.56 ^b	0.34 ^b	
	03	11.19 ^a	nd	nd	
	04	9.37 ^c	nd	nd	
	Testigos	QPM	10.66 ^{ab}	4.89 ^a	0.85 ^a
	Criollo	9.76 ^c	1.76 ^{bc}	0.25 ^b	
BAP	94	10.78 ^a	1.20 ^e	0.20 ^e	
	97	10.82 ^a	3.17 ^c	0.30 ^{cd}	
	00	9.70 ^b	3.82 ^b	0.40 ^c	
	03	10.84 ^a	4.62 ^a	0.50 ^b	
	04	10.06 ^b	nd	nd	
	Testigos	QPM	10.66 ^a	4.89 ^a	0.85 ^a
	Criollo	9.76 ^b	1.77 ^d	0.25 ^{de}	
NBP	00	10.39 ^b	2.45 ^b	0.28 ^b	
	03	11.77 ^a	nd	nd	
	04	10.23 ^{bc}	nd	nd	
	Testigos	QPM	10.66 ^b	4.89 ^a	0.85 ^a
		Criollo	9.76 ^c	1.76 ^c	0.25 ^b
BBP	00	10.08 ^{cd}	3.18 ^b	0.32 ^b	
	03	11.26 ^a	2.92 ^c	0.26 ^b	
	04	10.34 ^{bc}	nd	nd	
	Testigos	QPM	10.66 ^b	4.89 ^a	0.85 ^a
		Criollo	9.76 ^d	1.76 ^d	0.25 ^b

Tratamientos con letras iguales son estadísticamente iguales
 Testigo 3 = QPM (alta calidad proteica); testigo 4 = Criollo
 + gramos por 100 g de proteína cruda
 nd = no determinado