

## EVALUACIÓN DE MAÍCES PRECOCES E INTERMEDIOS EN VALLES ALTOS CENTRALES DE MÉXICO. II. DIVERGENCIA GENÉTICA

## EVALUATION OF EARLY AND INTERMEDIATE CORN VARIETIES IN CENTRAL HIGH VALLEYS OF MEXICO. II. GENETIC DIVERGENCY

Felipe Nava Peralta y José Apolinar Mejía Contreras<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Especialidad de Genética. Km. 36.5 Carr. México-Texcoco. CP. 56230, Montecillo, Estado de México. Tel y Fax: 01(595) 952-0262. Correo electrónico: mapolina@colpos.colpos.mx

\*Autor responsable

### RESUMEN

En algunas poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) utilizadas en los programas de mejoramiento genético de Valles Altos Centrales de México se desconocen las razas y las relaciones de parentesco, por lo que se planteó este estudio para determinar el grado de asociación de las poblaciones de maíz y agruparlas mediante técnicas de taxonomía numérica. Se evaluaron 109 poblaciones de maíz y testigos en un diseño de látice simple duplicado 11 x 11 en las localidades de Metepec, Tecamac, Montecillo y Chapingo, México, y se hizo análisis de componentes principales en los caracteres: días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, número de plantas y de mazorcas, y diámetro y longitud de mazorca, para conocer la dispersión gráfica de las poblaciones y la clasificación o agrupación de las mismas. Se utilizó el promedio de grupo, y como medida de disimilitud el complemento del coeficiente de correlación (rc) del dendrograma correspondiente. Se encontraron siete agrupaciones a una distancia rc de 0.70, con base en la variabilidad fenotípica característica de las poblaciones. Los grupos G1, G4 y G7 fueron considerados como poblaciones nuevas, adaptadas a Valles Altos Centrales de México. Al usar como referencia a poblaciones cuya raza principal es conocida, fue posible determinar relaciones de parentesco de las poblaciones provenientes del Valle de Toluca: Acambay, Stgo. Yeche, Ixtlahuaca, Jiquipilco y Almoloya de Juárez, y de las colectas: Col-3228, Col-3364, Col-3359, Col-499, Col-1288, Col-1444, Col-568, Col-1396, Col-477, Col-1296 y Col-1439. También se determinaron agrupaciones y asociaciones de maíces criollos anteriormente desconocidas.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., población, clasificación racial, taxonomía numérica.

### SUMMARY

In order to know the races and parental relationships of some corn (*Zea mays* L.) populations used in the breeding programs of the Highlands of Central México, the purpose of this study was to determine the relationships among populations with different genetic background and to integrate clusters based on numerical taxonomy techniques. A total of 109 corn populations were planted at Metepec, Tecamac, Montecillo and Chapingo, México, under an 11x11 simple duplicate lattice design to be evaluated. Principal components analysis was used for the following characters: days to male and female flowering, plant and ear height, plants and ears number, and ear diameter and length; the graphic dispersion and population classification or clusters were determined by using the average linkage method and the correlation coefficient (cr) component criteria. Results showed seven clusters with a 0.70 rc distance based on the populations typical

phenotypic variability, and four clusters with 1.2 rc distance G1, G2 and G3 were considered new clusters adapted to Central High Valleys of Mexico. Using as reference source populations whose main race is known, it was possible to determine the relationships among the Toluca valley populations: Acambay, Stgo. Yeche, Ixtlahuaca and Almoloya de Juárez landraces, and the collections: Col-3228, Col-3364, Col-3359, Col-499, Col-1288, Col-1444, Col-568, Col-1396, Col-477, Col-1296 and Col-1439. Some clusters and relationships which were previously unknown, were also defined.

**Index words:** *Zea mays* L., population, racial classification, numerical taxonomy.

### INTRODUCCIÓN

Los Estados de México, Puebla, Tlaxcala e Hidalgo conforman la parte principal de los Valles Altos Centrales de México, con 3.5 millones de hectáreas sembradas de maíz, donde las razas a las que pertenecen la mayoría de los maíces cultivados son las siguientes: Arrocillo Amarillo, Cónico, Cacahuacintle, Chalqueño y Palomero Toluqueño (Eagles y Lothrop, 1994). Las razas Cónico y Chalqueño en dicha región han dado origen a una gran diversidad de variedades que mantienen su identidad y variabilidad genética en forma de "criollos" locales. De algunos criollos aún se desconoce la raza a la que pertenecen y el grado de parentesco con otras poblaciones, como algunos del Valle de Toluca (Criollos de Jiquipilco, Ixtlahuaca, Santiago Yeche, Almoloya de Juárez y Acambay). Es conveniente por ello conocer las relaciones de parentesco de estos criollos, para así definir mejores estrategias para su aprovechamiento.

Las técnicas usadas para clasificar las poblaciones de maíz, conocer su variabilidad, diversidad genética y la raza a la que pertenecen han sido variadas; una es la agrupación basada en la constitución genética total propuesta por Wellhausen *et al.* (1951) que incluye la distribución geográfica, los caracteres fenotípicos de planta, espiga y mazorca, y los caracteres fisiológicos, genéticos y citológicos (Hallauer y Miranda, 1988), para clasificar 25 razas

de maíz en México. Actualmente la clasificación por taxonomía numérica es una de las herramientas utilizadas para conocer las interrelaciones de parentesco existentes entre las razas de maíz en México, de las cuales se han descrito 49 (Sánchez y Goodman, 1992; Castillo, 1994). Sin embargo, la amplia diversidad de maíces aún no bien definidos, variantes y tipos, es de tal magnitud que ha sido necesario determinar colectas típicas representativas de las razas específicas (Ortega y Sánchez, 1989), clasificando las poblaciones que se encuentran en los bancos de germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Agrícola y Forestal del Edo. de México (ICAMEX), Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y el Colegio de postgraduados (CP). Al respecto, Cervantes (1976) aplicó la técnica de la taxonomía numérica a poblaciones representativas de las 25 razas de maíz descritas por Wellhausen *et al.*, (1951) para confirmar las relaciones de parentesco y proponer relaciones adicionales.

Por su parte, Caballero y Cervantes (1990) y Silva (1992) en estudios de las razas de maíz "Tuxpeño" y "Cónico", respectivamente, formaron grupos de parentesco bien definidos mediante la clasificación por taxonomía numérica definida por Sneath y Sokal (1973); en este agrupamiento por métodos numéricos de unidades taxonómicas en grupos, que se basan en el análisis de similitud o disimilitud entre las unidades taxonómicas operacionales y el análisis de agrupamiento, se emplean el complemento del coeficiente de correlación y la distancia euclidiana como medida de disimilitud. Además, se ha hecho necesario elegir a los caracteres de mayor utilidad en la clasificación racial por taxonomía numérica, al respecto, Sánchez (1983) considera que los caracteres que interaccionan poco con el ambiente son los que mantienen las diferencias raciales, y Sánchez *et al.* (1993) sugieren nueve caracteres como variables apropiadas para la clasificación racial del maíz. El uso de la técnica y procedimientos de la taxonomía numérica para la clasificación racial permitirá conocer las agrupaciones, relaciones de parentesco y asociaciones anteriormente desconocidas de las poblaciones de maíz.

Los objetivos del presente estudio fueron determinar el grado de parentesco de las poblaciones de maíz evaluadas, y agrupar las poblaciones de maíz mediante la técnica de taxonomía numérica.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 109 poblaciones (seleccionadas de 121 genotipos) para Valles Altos de México, obtenidas de los bancos de germoplasma del INIFAP, CIMMYT, ICA-

MEX, UACH y CP, que se evaluaron en el ciclo primavera-verano de 1993 en las localidades de Metepec, Tecamac, Montecillo y Chapingo del Edo. de Méx., bajo un diseño experimental de látice simple duplicado 11 x 11. La parcela experimental consistió de dos surcos de 4.2 m de largo, y 0.80 m de ancho; la distancia entre plantas fue de 0.40 m. Se sembraron tres cariósides para aclarar a dos plantas por mata, y obtener una densidad de población aproximada de 62 000 plantas por hectárea. Los caracteres evaluados fueron: días a floración masculina y femenina (DFM, DFF), altura de planta y mazorca (APL, AMZ), número de plantas y de mazorcas (NPL, NMZ), diámetro y longitud de mazorca (DMZ, LMZ); estos caracteres se seleccionaron por ser considerados de utilidad para agrupar a las poblaciones y por no contar con caracteres reproductivos que presenten menor interacción con el ambiente, que pudieran ofrecer un grado de precisión mayor en este tipo de estudios.

Se hizo un análisis de componentes principales, el cual permite transformar los vectores originales en combinaciones lineales normalizadas no correlacionadas ("componentes principales") así como explicar con las componentes principales de mayor porcentaje la mayor variabilidad de las variables originales (Giri, 1996). Para realizar el agrupamiento se utilizó el método de taxonomía numérica, mediante un arreglo matricial de orden 109 x 8, donde las hileras correspondieron a las poblaciones y las columnas a los caracteres; los valores fueron los promedios generales de cada una de las poblaciones para cada carácter evaluado. Para generar la matriz de disimilitud, se normalizaron y estandarizaron los promedios y se utilizó el complemento del coeficiente de correlación ( $rc=1-r$ ) como coeficiente de disimilitud entre cada par de poblaciones, siendo la medida angular entre pares de vectores con respecto al origen la que ubicó la posición de las poblaciones en forma gráfica. También se utilizó el método de agrupación jerárquica estratificada de los promedios de grupo para clasificar las poblaciones, y para diferenciar y separar los grupos y subgrupos con mayor claridad en forma de dendrograma. El procedimiento estadístico fue realizado mediante los paquetes Princomp, Plot, Cluster y Tree de SAS (1985).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los agrupamientos y las relaciones de asociación de las 109 poblaciones de maíz se presentan en forma gráfica en la Figura 1 (a-b), basada en el análisis de componentes principales de ocho caracteres, y el agrupamiento de las poblaciones se presenta en forma de dendrograma (Figura 2).

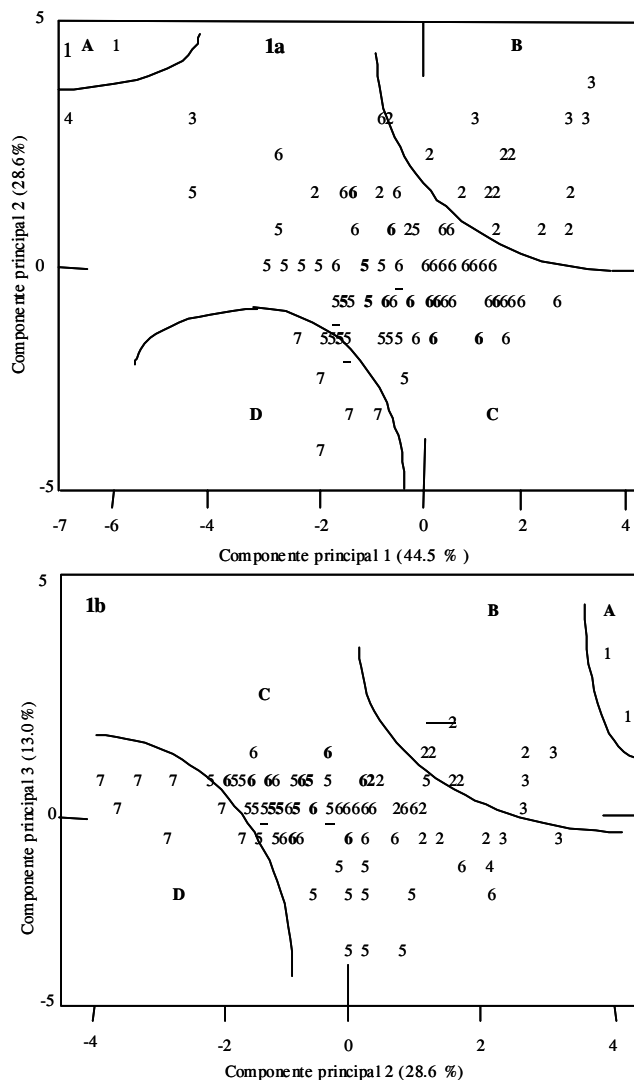


Figura 1 (a-b). Dispersión de 109 poblaciones de maíz de diferente fuente germoplásmica, con base en las tres primeras componentes principales del análisis de ocho caracteres. A-D y 1-7 representan grupos grandes y medianos, respectivamente. Números en negritas, subrayados y doble subrayados representan dos, tres y cuatro observaciones, respectivamente.

Con los valores característicos, la proporción de la varianza explicada por cada componente principal y la proporción correspondiente de la varianza en forma acumulada dimensional (Cuadro 1), se encontró que con las tres primeras componentes principales, CP1, CP2 y CP3, se pudo explicar 44.5, 28.6 y 13.0 % de la variación proporcional, respectivamente. Al incluir CP4 en forma acumu-

lada, se determinó una proporción de 92.0 % de la variación total de los caracteres originales.

Cuadro 1. Valores característicos, proporción de la varianza por componentes principales y proporción total acumulada del análisis de ocho caracteres en 109 poblaciones de maíz. Metepec, Tecamac, Montecillo y Chapingo, Méx. 1995.

Componente Principal	Valores característicos	Proporción de la varianza	Proporción acumulada
CP1	3.563	0.445	0.445
CP2	2.286	0.286	0.731
CP3	1.044	0.130	0.862
CP4	0.445	0.056	0.917

CP= Componentes principales.

En la Figura 1 (a-b) se puede apreciar la distancia de cada población al punto de intersección (cero), la cual representa al vector característico de cada población en relación con las tres primeras componentes principales, CP2 x CP1 y CP3 x CP2. Cada número representa a una población y su dispersión. Se observan siete grupos (1-7) a una distancia  $rc$  de 0.7, delimitados en otros cuatro grandes grupos (A-D) definidos por una distancia  $rc$  de 1.2, de acuerdo con las tendencias de agrupación consideradas en el dendrograma. La descripción e interpretación de los resultados en relación a los grupos se hizo con base en las agrupaciones observadas en el dendrograma (Figura 2).

La primera componente principal (Cuadro 2) presenta mayor asociación con seis de los ocho caracteres estudiados: DFM, DFF, NPL, NMZ, DMZ y LMZ; la segunda componente principal se asocia en mayor grado con cuatro caracteres: DFM, APL, AMZ y DMZ; la tercera componente principal se asocia con DFM, DFF, NPL y AMZ; y la cuarta componente principal se asocia con DFF, NPL, DMZ y LMZ. Resultados similares fueron informados por Sánchez *et al.* (1993) después de evaluar 49 razas mexicanas de maíz para conocer las características apropiadas para clasificarlas al encontrar grupos de caracteres vegetativos, de mazorca y de grano fuertemente correlacionados. Por su parte, Silva (1992) al clasificar poblaciones de maíz de la raza "Cónico" encontró correlaciones similares entre caracteres vegetativos, morfológicos, de mazorca y de espiga. Si bien estas correlaciones permiten explicar el comportamiento de las poblaciones ya sean en forma aislada o en grupos, con base en los caracteres de mayor correlación con los componentes principales correspondientes, el análisis gráfico es difícil de interpretar por la gran cantidad de genotipos y caracteres evaluados. Por ello es recomendable enriquecer la interpretación mediante los promedios de caracteres de cada grupo identificados en los dendrogramas.

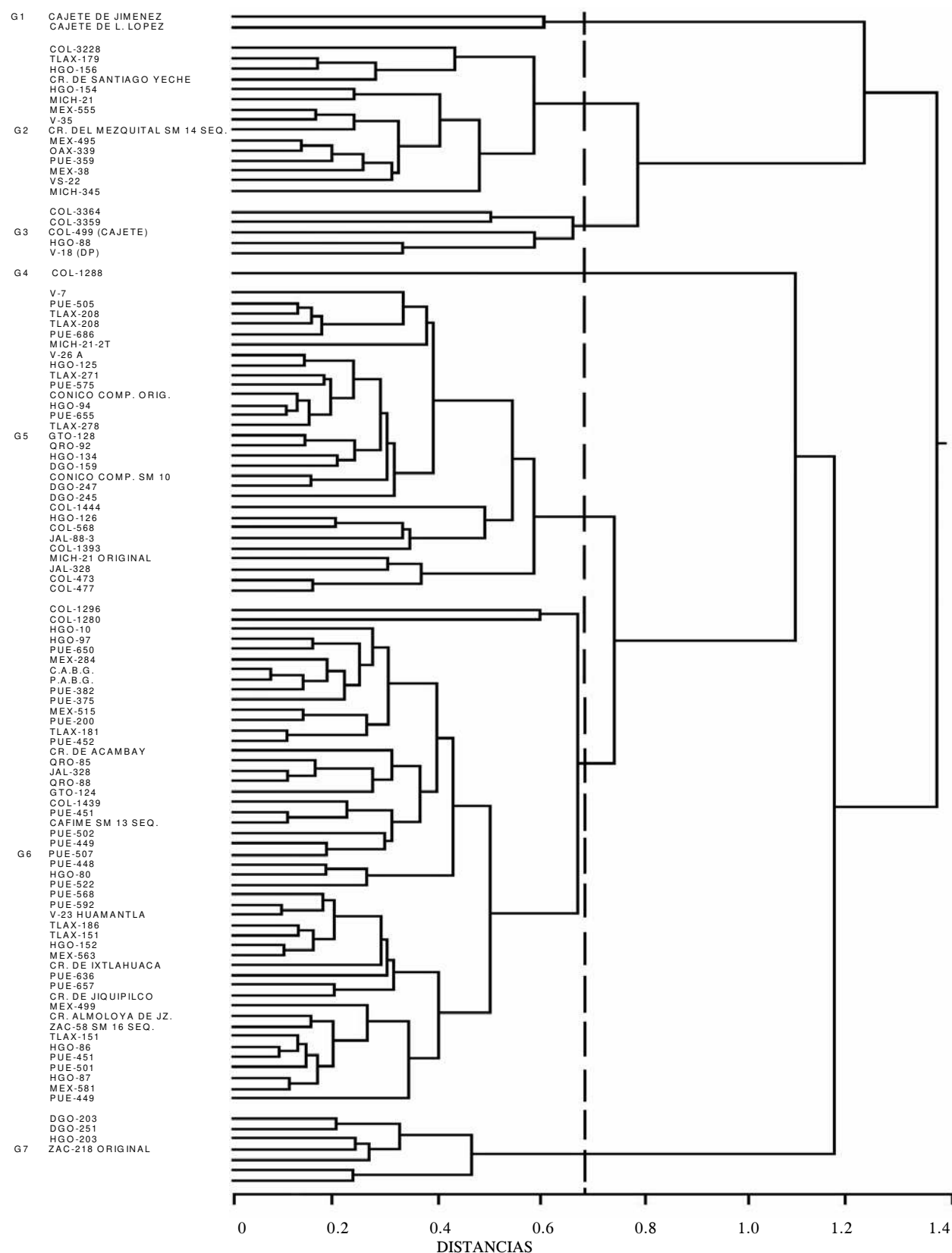


Figura 2. Dendrograma de 109 poblaciones de maíz, obtenido de las tres primeras componentes principales estandarizadas usando el complemento de coeficientes de correlación como medida de disimilitud.

Cuadro 2. Vectores característicos asociados a las cuatro primeros componentes principales del análisis de ocho caracteres en 109 poblaciones de maíz de Valles Altos de México, de diferente fuente germoplásmica. Metepec, Tecamac, Montecillo y Chapingo, Méx. 1995.

Caracteres	Vectores característicos			
	CP1	CP2	CP3	CP4
DFM	0.346*	0.329*	-.467*	-.159
DFF	0.408*	0.172	-.403*	-.450*
APL	0.256	0.518*	0.263	0.310
NPL	0.358*	-.189	0.512	-.566*
NMZ	0.401*	-.289	0.342	0.025
AMZ	0.151	0.564*	0.360*	0.166
DMZ	0.371*	-.333*	-.153	0.435*
LMZ	0.446*	-.212	-.134	0.372*

CP= Componentes principales.

\* Caracteres originales con mayor asociación con la componente respectiva, considerando valores absolutos.

DFM= días a floración masculina; DFF= días a floración femenina; APL= altura de panta; NPL= número de plantas; NMZ= número de mazorcas; AMZ= altura de mazorca; DMZ= diámetro de mazorca; LMZ= longitud de mazorca.

De acuerdo con el análisis de agrupamiento que se presenta en el dendrograma (Figura 2), la asociación entre poblaciones se inició a una distancia  $rc$  de 0.10, y se intensificó rápidamente hasta los valores de 0.60, para dejar diferenciados a siete grupos a una distancia  $rc$  de 0.70. Los agrupamientos de este nivel permiten observar una diferenciación adecuada de las poblaciones cuya raza principal a la que pertenecen es conocida, para finalmente quedar integrados tres grupos grandes más un grupo de dos colectas a una distancia de 1.2. A distancias más cortas también se observan subgrupos claramente definidos, que podrían utilizarse para lograr mayor grado de precisión en la agrupación o explicación de las relaciones de parentesco de las poblaciones; en estos subgrupos los niveles de parentesco son más estrechos, lo que sugiere que son poblaciones provenientes de la misma fuente germoplásmica y de la misma raza, lo cual ofrece la posibilidad de definir algunas poblaciones como representativas de las razas utilizadas.

La variación fenotípica de los siete grupos (Cuadro 3) y los agrupamientos resultantes evidencian que los caracteres DFM, DFF, APL, NPL, NMZ, y LMZ presentan gran variación, con los agrupamientos observados en el dendrograma.

Como ejemplo se pueden señalar las poblaciones Cajete de Jiménez y Cajete de L. López que integraron el grupo 1 y provienen de áreas ecológicas similares; ello contribuye a definir su agrupación, como lo señalan Cervantes (1976) y Márquez (1991), pues aunque se desconozca la raza principal a la que pertenecen se infiere que son de la misma fuente germoplásmica.

A nivel de  $rc=0.70$  se formaron en el dendrograma los siguientes grupos:

Cuadro 3. Promedios para ocho caracteres, de siete grupos identificados por taxonomía numérica, en 109 poblaciones de maíz. Metepec, Tecamac, Montecillo y Chapingo, Méx. 1995.

Gpo	No.	DFM	DFF	APL	NPL	NMZ	AMZ	DMZ	LMZ
Pob.	(días)	(días)	(cm.)	(num.)	(num.)	(cm.)	(cm.)	(cm.)	(cm.)
1	2	77	74	222	22	11	157	2	7
2	15	94	94	215	35	26	134	4	11
3	5	101	97	231	35	23	151	4	11
4	1	83	73	202	12	6	124	3	8
5	30	89	89	182	31	21	107	4	10
6	49	90	92	199	33	26	120	4	11
7	7	82	83	166	33	24	89	4	10

DFM= días a floración masculina; DFF= días a floración femenina; APL= altura de panta; NPL= número de plantas; NMZ= número de mazorcas; AMZ= altura de mazorca; DMZ= diámetro de mazorca; LMZ= longitud de mazorca.

Grupo 1. Se formó con las poblaciones Cajete de Jiménez y Cajete de L. López, provenientes de Oaxaca, caracterizados principalmente por ser los de mayor precocidad, con un promedio de 77 días a floración; de porte mediano, con una altura de planta promedio de 222 cm. Estas poblaciones se conservaron aisladas, sin asociación con los demás genotipos evaluados.

Grupo 2. Integrado por 15 poblaciones provenientes del Edo. de México, Michoacán e Hidalgo, principalmente; entre sus características principales se encuentran las siguientes: son tardías, con 94 días a floración masculina y femenina; de porte ligeramente menor a las poblaciones del Grupo 1; la clasificación racial más frecuente fue Cónico y Chalqueño. En el grupo racial Cónico está el Criollo de Santiago Yèche, proveniente del Valle de Toluca y la Colecta-3228 del Mpio. de Charapan, Mich.

Grupo 3. Compuesto por cuatro poblaciones y la variedad V-18 (DP), caracterizadas por ser las más tardías y de la parte más alta en relación a los seis grupos restantes, y con promedios para DFM y APL de 101 días y 231 cm, respectivamente; la única descripción racial observada en este grupo es Chalqueño, proveniente de la colecta Hgo-88; en este grupo se encuentran las colectas (Col)-3364, (Col)-3359 y (Col)-449 (Cajete).

Grupo 4. Quedó constituido únicamente por la colecta Col-1288, originaria del Mpio. de Moyotzingo, Edo. de Puebla; caracterizada por presentar 83 días a floración masculina, con 202 cm de altura promedio; sin definición racial.

Grupo 5. En este grupo se ubicaron 30 poblaciones, caracterizadas por presentar 89 días en promedio a floración masculina y una altura de planta promedio de 182 cm; las razas más frecuentes fueron Cónico, Cónico Norteño y Boluta. En este grupo se localizan seis colectas "Col" realizadas por el Dr. A. Muñoz O., de las cuales se desconocía

su clasificación, quedando agrupadas entre las razas Cónico y Cónico-Norteño.

Grupo 6. Conformado por 49 poblaciones, con las características principales siguientes: ciclo tardío, con un promedio de 90 días a floración masculina; de porte intermedio, con una altura de planta promedio de 199 cm; las razas de mayor frecuencia fueron Cónico, Cónico-Norteño y Chalqueño, y con menor frecuencia Elotes Cónicos y Bolita. La mayor cantidad observada de grupos raciales, se explica en parte por la distancia *rc* utilizada de 0.70, y por otra a la posibilidad de que las poblaciones formen un continuo en torno a los complejos raciales o que haya habido recombinaciones inestables, como lo menciona Ramos (1972). En este grupo se encuentran los Criollos de Ixtlahuaca, Jiquipilco y Almoloya de Juárez Edo. de Méx. agrupados entre los Cónicos, y el Cr. de Acambay agrupado con Chalqueño y Cónico-Norteño; las poblaciones CABG y PABG se ubicaron entre los maíces cuya clasificación racial predominante fue Cónico.

Grupo 7. Incluye siete poblaciones que se caracterizan por presentar ciclo intermedio, con un promedio de 82 días a floración masculina; de porte bajo, con una altura de planta promedio de 166 cm. Su descripción racial corresponde a Cónico-Norteño, excepto para Hgo-203 que fue Cónico. En este grupo se encuentran cuatro poblaciones provenientes de Zacatecas, adaptadas a condiciones de Valles Altos Centrales por el Dr. J.D. Molina G.

Los grupos G1, G4 y G7 ubicados a una distancia *rc* de 0.70, ponen de manifiesto que su base germoplásmica no corresponde a los genotipos de maíz evaluados, sino como agrupaciones diferentes; también se nota que son poblaciones adaptadas a Valles Altos Centrales de México mediante técnicas de mejoramiento genético.

Los caracteres agronómicos analizados no son los más recomendables para una agrupación racial, debido a que las diferencias raciales pueden ser enmascaradas por el efecto ambiental y la interacción genotipo-ambiente. Se considera más apropiado utilizar caracteres estables, como los que sugieren Sánchez *et al.* (1993). Aún así, los caracteres agronómicos permitieron determinar en orden lógico el grado de asociación y las agrupaciones correspondientes de las poblaciones estudiadas.

## CONCLUSIONES

Se determinaron las relaciones de parentesco de las poblaciones provenientes del Valle de Toluca, al usar como

referencia a poblaciones de maíz cuya raza principal es conocida.

Se formaron siete grupos de poblaciones a una distancia *rc* de 0.70, con base en la variabilidad fenotípica característica de las poblaciones. Tales grupos permitieron conocer el patrón de relaciones de parentesco y determinar una asociación putativa.

De los siete grupos detectados, las agrupaciones G1, G4 y G7 se consideran nuevas provenientes de materiales adaptados a los Valles Altos Centrales de México.

## BIBLIOGRAFÍA

- Caballero H F, T Cervantes S (1990)** Estudio genético y taxonómico de poblaciones de maíz de la raza Tuxpeño. *Agrociencia* 1 (2):43-64.
- Castillo G F (1994)** Aprovechamiento de la diversidad genética del maíz en México. *In: Memorias del II Congreso Latinoamericano de Genética. XV Congreso de Fitogenética. Asociación Latinoamericana de Genética. Sociedad Mexicana de Genética. Monterrey, N.L., Méx. pp: 78-92.*
- Cervantes S T (1976)** Efectos genéticos y de interacción genotipo-ambiente en la clasificación de razas mexicanas de maíz. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 139 p.
- Eagles H A, J E Lothrop (1994)** Highland maize from central Mexico. Its origin, characteristics and use in breeding programs. *Crop Sci.* 34:11-19.
- Giri N C (1996)** Multivariate Statistical Analysis. New York. USA. Marcel Dekker, Inc. 378 p.
- Hallauer A R, F Miranda (1988)** Quantitative Genetics in Maize Breeding. 2ª Ed. Iowa State University Press, Ames. Iowa. 468 p.
- Márquez S F (1991)** Genotecnia Vegetal: Métodos Teoría y Resultados. Tomo III. AGT. México, D.F. 500 p.
- Ortega P R, J Sánchez G (1989)** Aportaciones al estudio de la diversidad de maíz de las partes altas de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 12:105-119.
- Ramos R A (1972)** Descripción de la variación morfológica de los maíces de la parte Oriental del Edo. de Méx. y de la Central del Edo. de Puebla. Tesis de Licenciatura. Dto. de Biología, Fac. de Ciencias. UNAM, México. 96 p.
- Sánchez G J J, M M Goodman (1992)** Relationships among the Mexican races of maize. *Econ. Bot.* 46:72-85.
- \_\_\_\_\_, **J O Rawlings (1993)** Appropriate characters for racial classification in maize. *Econ. Bot.* 47:44-59.
- Sánchez P P (1983)** Estudio de estabilidad de caracteres y razas de maíz de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo. Méx. 73 p.
- SAS (1985)** SAS User's Guide: Statistics. version 5 Edition. SAS Institute Inc. Cary, N. C., USA. 956 p.
- Silva C E G (1992)** Estudio agronómico y taxonómico de colecciones de la raza de maíz "Cónico": su colección central y perspectivas de uso en el mejoramiento genético. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 116 p.
- Sneath P H A, R R Sokal (1973)** Numerical Taxonomy. W. A. Freeman and Co. San Fco. 573 p.
- Wellhausen E J L M Roberts, E Hernández X, en colaboración con P C Mangelsdorf (1951)** Razas de Maíz en México. *Foll. Téc.* No. 5. OEE, SAG. Méx. 237 p.