

DIVERSIDAD FENOTÍPICA DEL MAÍZ CACAHUACINTLE EN EL VALLE DE TOLUCA, MÉXICO

PHENOTYPIC DIVERSITY OF THE CACAHUACINTLE MAIZE LANDRACE AT THE TOLUCA VALLEY, MÉXICO

Andrés González Huerta^{1*}, Jaime Sahagún Castellanos², Delfina de Jesús Pérez López¹, Aurelio Domínguez López¹, Rodolfo Serrato Cuevas¹, Verónica Landeros Flores¹ y Ernesto Dorantes Coronado¹

¹Facultad de Ciencias Agrícolas, Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, Universidad Autónoma del Estado de México, Apdo. Postal 435, El Cerrillo Piedras Blancas, Edo. de México. Teléfono: 01 (722) 296-5531. Fax: 01 (722) 296-5529. ²Departamento de Fitotecnia, Programa Universitario de Investigación y Servicio en Olericultura, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carr. México-Texcoco. 56230, Chapingo, Edo. de México.

* Autor para correspondencia (agh@uaemex.mx)

RESUMEN

Cacahuacintle es una raza de maíz (*Zea mays* L.) que se siembra en 20 000 ha en el Valle de Toluca para la producción de elote y 10 500 ha para la producción de “pozole”, un platillo mexicano. Aun cuando este maíz tiene un rendimiento de grano y precio aceptables (entre 2000 y 4000 kg ha⁻¹ y en los últimos cuatro años su precio por kilogramo fue de 2.0 a \$9.50) actualmente sólo se siembran poblaciones que los agricultores han seleccionado en forma visual. Para identificar poblaciones de Cacahuacintle que permitan explotar mejor su potencial genético, en 1999 se evaluaron 30 poblaciones en San Marcos de la Cruz, San Diego La Huerta y Calimaya de Díaz González, tres localidades ubicadas en el Valle de Toluca, Estado de México. En cada localidad las poblaciones se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. El análisis a través de las localidades se hizo como una serie de experimentos en espacio. Los resultados permitieron concluir que: 1) La interacción genotipo x ambiente sólo fue significativa para el número de hileras de la mazorca; 2) Las poblaciones identificadas como 3, 5, 7, 19, 21 y 26 (que produjeron de 5719 a 6379 kg ha⁻¹) son las de mayor potencial para utilizarse como base de un programa de mejoramiento; 3) La variabilidad genética de la raza Cacahuacintle permite hacer selección para reducir altura de planta, altura de mazorca y número de hileras de la mazorca, y para incrementar el rendimiento (variabilidad genética entre poblaciones de 45.9, 40.8, 47.0 y 50.2 %, respectivamente); 4) La variación entre poblaciones fue baja en otros atributos ($H^2 = 15.9$ % para longitud de mazorca; para diámetro de mazorca, peso de elote y peso de grano por mazorca).

Palabras clave: *Zea mays*, Cacahuacintle, interacción genotipo x ambiente, componentes de varianza, heredabilidad.

SUMMARY

At the Toluca Valley, México, the Cacahuacintle maize (*Zea mays* L.) landrace is sown in 20 000 ha for immature cob harvest and 10 500 ha to produce mature grain for “pozole”, a Mexican dish. Al

though the grain yield and price are relevant (yield from 2000 to 4000 kg ha⁻¹; and in the last four years the price per kilogram was from 2.0 to \$9.50 pesos), only local populations visually selected by farmers are currently sown. To identify Cacahuacintle populations with greater genetic potential, 30 local populations were tested in 1999 at San Marcos de la Cruz, San Diego La Huerta and Calimaya de Díaz González, three locations of the Toluca Valley, State of México. In each location, a randomized complete block design with three replications was used. The combined analysis was computed as series of experiments over locations. The obtained results allowed to conclude that: 1) The genotype x environment interaction was only significant for number of ear rows; 2) Populations identified as 3, 5, 7, 19, 21 (yielding from 5719 to 6379 kg ha⁻¹) are the best for a Cacahuacintle breeding program; 3) The available genetic variability in Cacahuacintle allows selection for reducing plant height, ear height and number of rows, and for improving grain yield (genetic variability between populations was 45.9, 40.8, 47.0, and 50.2 %, respectively); 4) The genetic variability between Cacahuacintle populations for other traits was low ($H^2 = 15.9$ % for ear length; for ear diameter, cob weight and grain per ear weight the estimated values of H^2 were negative).

Index words: *Zea mays*, Cacahuacintle, genotype x environment interaction, variance components, heritability.

INTRODUCCIÓN

Las razas de maíz (*Zea mays* L.) clasificadas en el complejo piramidal mexicano que se cultivan en altitudes superiores a 2000 m son: Palomero Toluqueño, Arrocillo Amarillo, Cónico, Chalqueño y Cacahuacintle. Actualmente se siembran 3.5 millones de ha en los Estados de Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala. Más de 95 % de esta superficie se siembra con criollos de las razas Cónico y Chalqueño y hasta la década de los 1990's el maíz blanco

se prefería sobre otros colores, por lo que recibía un mejor precio (Wellhausen *et al.*, 1951; Eagles y Lothrop, 1994).

En el Valle de Toluca, Estado de México, el Cacahuacintle se comercializa principalmente como hortaliza y como grano despuntado, es decir, granos a los que se les ha eliminado mecánicamente el pedicelo y parte del embrión. En esta región se siembran 20 000 ha para la producción de elote y 10 500 ha para la producción de grano para pozole. El rendimiento del Cacahuacintle despuntado fluctúa entre 1500 y 3000 kg ha⁻¹ y en los últimos cuatro años su precio ha variado entre \$2.0 y \$9.5 por kilogramo. Como hortaliza se estima que su potencial se encuentra entre 20 000 y 30 000 elotes de alta calidad por hectárea (González *et al.*, 1999).

En variedades criollas de Cacahuacintle el rendimiento comercial de grano varía de 2500 a 6500 kg ha⁻¹ (Aguilar *et al.*, 1999), pero experimentalmente se han obtenido hasta 10360 kg ha⁻¹ (Ramos y Gerón, 1998). En la década de los 1950's la media de rendimiento de esta raza era de 1000 kg ha⁻¹ y actualmente es de 4000 kg ha⁻¹, lo que representa un incremento de 300 %. Se desconocen las causas que han contribuido al incremento de su productividad y también su variabilidad genética, que permitan identificar poblaciones sobresalientes. Para conocer si la selección rigurosa que el agricultor ha realizado para grano harinoso ha reducido la variabilidad genética en características de planta y de mazorca, se efectuó un estudio para estimar la variabilidad genética en el rendimiento de grano y componentes del rendimiento de poblaciones de Cacahuacintle sembradas en el Valle de Toluca, e identificar poblaciones sobresalientes a utilizar en programas de mejoramiento genético.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en 1999 en condiciones de temporal o secano en San Marcos de la Cruz (SMC), en Cabecera Municipal (CM) y en San Diego La Huerta (SDH), localidades del municipio de Calimaya, ubicadas en el Valle de Toluca. Cabecera Municipal está situada a 17 km al sur de Toluca, la capital del Estado, a 19° 09' 30" de LN y 99° 37' 17" de LO y a una altitud de 2 650 m; su clima predominante es templado, con tendencia a frío y subhúmedo; sus suelos son sueltos, muy friables, derivados de cenizas volcánicas y con pH ácido (entre 4 y 6), y descansan sobre un sustrato volcánico de pumicita suelta (tepojal) con profundidades de 40 a 100 cm (González *et al.*, 1999).

Las variedades criollas fueron colectadas en las cinco localidades donde se siembra maíz Cacahuacintle (SMC, CM, SDH, Santa María Nativitas (SMN) y San Lorenzo Cuauhtenco (SLC); Se obtuvo semilla de 30 poblaciones proporcionada por igual número de agricultores (Aguilar *et*

al., 1999). Las 30 poblaciones de Cacahuacintle se evaluaron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones por localidad. La parcela experimental consistió de cuatro surcos de 6 m de longitud con separación entre hileras de 80 cm; cada hilera constó de once matas separadas a 60 cm y en cada mata se depositaron cinco semillas. La parcela experimental útil constó de los dos surcos centrales (9.6 m²).

La preparación del suelo consistió de un barbecho y una cruz. La siembra de los experimentos en SMC, CM y SDH, se hizo los días 10, 19 y 21 de abril de 1999, respectivamente. Previo a la siembra manual, se surcó y se fertilizó con maquinaria. Para la fertilización se usó la fórmula 165N-65P-30K, fraccionadas en dos aplicaciones; en la primera se aplicó 50 % del nitrógeno y la totalidad del fósforo y potasio, y con la segunda escarda se incorporó el nitrógeno restante. Como fuentes de fertilizantes se emplearon urea, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio. Cuando la planta tenía entre 15 y 20 cm de altura, la densidad de población se ajustó a 62 500 plantas/ha (tres plantas por mata). El control de la araña mexicana (*Oligonychus mexicanus*) del maíz se realizó con Nuvarcrón® (1 L ha⁻¹). El control de maleza fue mecánico, manual y químico; para este último se aplicaron 1 L y 1 kg de 2,4, D-amina® y Atrazina® respectivamente, disueltos en 200 L de agua. La cosecha se hizo en la primera quincena de enero del 2000.

El manejo estadístico de la información consistió de dos tipos de análisis: un análisis de varianza combinado, como una serie de experimentos en espacio, prueba de la diferencia mínima significativa (DMS, $P \leq 0.01$), análisis de correlación y estimación de los componentes de varianza (Martínez, 1994; y por Sahagún, 1998). para determinar la variabilidad genética entre poblaciones de (H^2) en las variables: altura de la planta (AP), altura de la mazorca (AM), diámetro de mazorca (DM), longitud de mazorca (LM), número de hileras de la mazorca (NHM), peso de olote por mazorca (POM), peso de grano por mazorca (PGM), peso volumétrico del grano (PVG) y rendimiento de grano por parcela (RGP). Con los datos de rendimiento por parcela se calculó el rendimiento en kilogramos por hectárea (RGH).

Con base en las esperanzas de los cuadrados medios del Anava combinado, H^2 (considerada como un estimador de la variabilidad genética total entre poblaciones), se calculó como:

$$H^2 = 100 \sigma^2_G / [\sigma^2_G + (\sigma^2_{GA}/e) + (\sigma^2_e/re)]$$

Donde: σ^2_G , σ^2_{GA} , y σ^2_e son estimaciones de las varianzas genética, de la interacción G x A y del error experimental combinado; e y r son el número de ambientes y de repeticiones por ambiente, respectivamente (Sahagún, 1998).

Además, desde una perspectiva multivariada, se hizo un análisis de componentes principales (ACP) con una rotación de tipo Varimax en los componentes resultantes, y un análisis de conglomerados con base en las distancias euclidianas al cuadrado y definición de grupos a una distancia de 26.78, según el método del vecino más lejano aplicado sobre la matriz de datos compuesta por cada una de las poblaciones, en hileras y los promedios a través de localidades de las variables mencionadas arriba, en columnas. (Johnson y Wichern, 1999). Las 30 poblaciones y las tres localidades fueron consideradas como factores aleatorios.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre las poblaciones de Cacahuacintle se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en cuatro de las nueve variables evaluadas por medio del análisis de varianza combinado: alturas de planta y mazorca, número de hileras en mazorca y rendimiento de grano (Cuadro 1). Estos resultados concuerdan con los de Ramos y Gerón (1998), quienes detectaron amplia variabilidad genética entre poblaciones de maíz Cacahuacintle para rendimiento de grano y otras características de planta y mazorca. Según Wellhausen *et al.* (1951), existe uniformidad fenotípica entre poblaciones de raza, esta la cual podría estar relacionada con la selección de semillas que hace el agricultor, de granos blancos, grandes y harinosos, porque proporcionan ventajas en la comercialización del producto como elote o grano descabezado para su consumo en “pozole”, platillo tradicional mexicano que se elabora con granos despuntados de maíz Cacahuacintle.

Las diferencias significativas ($P \leq 0.01$) observadas entre localidades para todas las variables (Cuadro 1) indican condiciones ambientales heterogéneas asociadas con topografía, altitud y suelo, principalmente; Cabecera Municipal se localiza a una altitud de 2650 m, en tanto que San Diego La Huerta y San Marcos de la Cruz se ubican a 2710 y 2850 m, respectivamente. En Cabecera Municipal el suelo predominante es franco – arenoso con pH de 6.1, mientras que en San Diego La Huerta y San Marcos de la Cruz, por su mayor cercanía al Volcán Xinantécatl, el suelo predominante es arcillo – limoso con pH de 4.8 y 5.2 (González *et al.*, 1999).

La interacción genotipo x ambiente fue significativa sólo para el número de hileras de la mazorca (Cuadro 1). En ausencia de interacción, los efectos originados por las localidades son independientes de los efectos ocasionados por los genotipos, por lo que la población de Cacahuacintle más rendidora podría sembrarse en cualquier localidad del municipio de Calimaya. No obstante, es necesario conducir otros ensayos a través de años o localidades para estimar con mayor precisión a este componente del valor fenotípico.

Según Aguilar *et al.* (1999), los agricultores de este tipo de maíz han contribuido al mejoramiento de la productividad y de las características de la mazorca, así como en su adaptación a los diferentes suelos que predominan en el municipio de Calimaya. También ha contribuido el intercambio de semilla que los agricultores realizan a través de años y de localidades, que ha conducido a una mayor uniformidad fenotípica y menor variabilidad genética en las características de la mazorca.

Cuadro 1. Cuadros medios y significancia estadística de los análisis de varianza para las variables morfológicas registradas en la evaluación de 30 poblaciones de maíz Cacahuacintle en tres localidades del municipio de Calimaya, Estado de México. 1999.

FV [†]	GL [†]	Variables								
		AP	AM	DM	LM	NHM	POM	PGM	PVG	RGP
Locs(A)	2	12.81**	7.48**	20.14**	1393**	35.3**	18870**	1493353**	779503**	209.7**
Rep/A	6	0.21**	0.09**	0.05 ns	1.1 ns	0.54 ns	133.9**	1827**	979 ns	0.9 ns
Poblaciones(G)	29	0.03**	0.02**	0.05 ns	1.0 ns	1.46**	14.0 ns	346 ns	1040 ns	2.4**
Interacción GxA	58	0.02 ns	0.01 ns	0.05 ns	0.9 ns	0.77*	16.9 ns	475 ns	1238 ns	1.2 ns
Error	174	0.01	0.01	0.04	0.7	0.49	14.9	362.6	1439	1.2
Media		2.39	1.35	5.54	13.7	12.39	23.9	136.2	606	5.0
C V (%)		5.3	8.3	3.8	6.4	5.7	16.1	13.9	6.3	21.6

[†] FV = Fuente de variación, GL = Grados de libertad; [†] AP = Altura de planta (m); AM = Altura de mazorca (m); DM = diámetro de mazorca (cm); LM = Longitud de mazorca (cm); NHM = Número de hileras de la mazorca; POM = Peso de olote por mazorca (g); PGM = Peso de grano por mazorca (g); PVG = Peso volumétrico del grano (g L⁻¹); RGP = Rendimiento de grano por parcela (kg); ns = No significativo ($P > 0.05$); * = Significativo a 5 %; ** = Significativo a 1 %.

En rendimiento de grano, las poblaciones identificadas como 3, 5, 7, 19, 21 y 26 fueron las más sobresalientes y produjeron entre 5719 y 6379 kg ha⁻¹ (Cuadro 2). El menor rendimiento de grano fue de 4066 kg ha⁻¹. Aguilar *et al.* (1999) reportaron que los rendimientos de grano en poblaciones de Cacahuacintle en el Valle de Toluca fueron de 2500 a 6500 kg ha⁻¹, aunque Ramos y Gerón (1998) evaluaron 25 colectas de Cacahuacintle en tres localidades del Estado de México y concluyeron que las poblaciones identificadas en su estudio como 93 y 25 produjeron el mayor y menor rendimiento (10 360 y 5900 kg ha⁻¹) en Juchitepec y Santa María Nativitas, respectivamente. Las diferencias observadas en rendimiento entre diversos investigadores, podrían estar relacionadas principalmente con diferencias en el origen de las colectas de Cacahuacintle, en localidades y en condiciones agronómicas de prueba.

El análisis de componentes principales muestra que las dos primeras componentes explican 53 % de la variabilidad observada en las 30 poblaciones respecto a las nueve

variables medidas. La matriz de correlaciones de las variables con cada componente principal refleja la relación entre alturas de planta y mazorca y diámetros de mazorca, variables que aportan la mayor contribución a la determinación del componente principal 1. En cambio, peso de grano y longitud de mazorca son las variables que más contribuyen a la generación del componente principal 2. Es decir, el componente principal 1 depende de las dimensiones de la planta y el Componente Principal 2 del rendimiento de grano. Las variables número de hileras en la mazorca y peso volumétrico del grano fueron las de menor contribución a la variabilidad en ambos componentes principales. Estos resultados implican que en ausencia de interacción genotipo x ambiente el mejoramiento genético se puede realizar más eficientemente si se selecciona indirectamente para altura de planta, altura de mazorca y diámetro de mazorca, porque permitirá seleccionar poblaciones de mayor potencial genético para rendimiento, independientemente de la localidad en la que se practique la selección (Figura 1).

Cuadro 2. Promedios aritméticos correspondientes a nueve caracteres¹ registrados en 30 poblaciones de maíz Cacahuacintle evaluadas en tres localidades del Valle de Toluca, en el Estado de México. 1999.

No.	Sitio ²	Agricultor	RGH	AP	AM	LM	DM	NHM	POM	PGM	PVG
5	CM	Miguel Castaño	6379	2.46	1.40	13.96	5.59	12.84	23.7	136.8	600.2
3	CM	Andrés Góngora	6055	2.40	1.36	13.87	5.59	12.50	25.5	144.3	625.0
7	CM	Sergio Aguilar	5922	2.40	1.36	13.88	5.57	12.42	23.8	142.6	607.6
19	SMC	Filemón Carmona	5810	2.39	1.34	13.72	5.62	12.63	25.2	144.0	606.0
26	SLC	Juan Carlos Carmona	5721	2.45	1.40	13.30	5.47	12.65	23.0	131.9	612.1
21	SDH	Jerónimo Arellano	5719	2.42	1.36	14.07	5.61	12.42	25.8	133.7	615.3
17	SMC	Godoleva Carmona	5712	2.47	1.42	13.96	5.63	12.46	24.9	144.1	578.2
29	CM	Tomás Aguilar	5528	2.41	1.33	13.73	5.56	12.68	22.9	132.7	617.3
30	CM	Genaro Rosas	5490	2.37	1.36	13.54	5.61	12.51	24.5	130.3	608.7
1	CM	Leobardo Jasso	5480	2.32	1.31	13.50	5.47	12.51	25.1	128.5	612.4
27	SLC	Manuel Gómez	5474	2.44	1.36	14.43	5.54	12.45	25.6	145.5	602.1
9	CM	Enrique Esteves	5463	2.39	1.36	13.21	5.61	12.10	26.1	131.5	598.6
20	SMC	Domingo Corona	5425	2.24	1.24	13.37	5.95	12.42	21.5	134.3	601.1
28	SLC	Héctor Gómez	5395	2.44	1.40	13.99	5.67	13.31	23.9	135.9	616.1
24	SMN	Froylán Muciño	5322	2.42	1.40	13.70	5.46	12.42	24.7	132.0	613.3
13	SMC	Juan Reyes	5319	2.43	1.35	13.71	5.56	12.40	23.3	134.9	605.7
10	CM	Ascensión Robles	5270	2.31	1.29	13.28	5.51	12.33	24.4	138.9	604.5
2	CM	Alejandro Aguirre	5249	2.32	1.27	14.19	5.44	11.71	23.8	134.8	600.7
11	CM	Gregorio Jasso	5230	2.37	1.34	13.45	5.49	12.70	23.1	137.2	591.7
22	SDH	Raymundo Arriaga	5218	2.33	1.31	13.88	5.41	12.22	23.5	141.1	615.2
25	SLC	Federico Colín	5160	2.41	1.37	14.22	5.58	14.22	23.0	131.9	612.1
4	CM	Margarita García	5037	2.45	1.39	13.75	5.46	12.30	23.5	134.0	622.0
18	SMC	Cruz Reyes	5028	2.44	1.42	13.33	5.55	12.17	25.3	137.1	605.4
12	SMC	Raul Reyes	5000	2.47	1.42	13.77	5.51	12.00	23.6	142.4	602.8
14	SMC	Tomás Reyes	4915	2.44	1.40	13.29	5.60	11.55	23.5	131.4	592.2
6	CM	Esteban Fajardo	4889	2.35	1.31	13.82	5.49	12.41	22.4	146.3	620.8
23	SLC	Armando Colín	4876	2.34	1.33	13.43	5.55	12.53	23.1	135.7	623.6
8	CM	José Mendoza	4409	2.43	1.35	13.58	5.47	12.35	23.2	127.9	606.0
16	SMC	Pedro Carmona	4361	2.30	1.29	13.47	5.51	12.34	21.5	127.7	585.2
15	SMC	Mateo Valdés	4066	2.30	1.26	13.29	5.52	12.18	23.1	132.0	586.6
		DMS (0.01)	948	0.11	0.09	0.75	0.18	0.60	3.3	16.4	32.7

¹ CM = Cabecera Municipal de Calimaya; SMC = San Marcos de la Cruz; SMN = Santa María Nativitas, SDH = San Diego La Huerta; SLC = San Lorenzo Cuauhtenco.

² AP = Altura de planta (m); AM = Altura de mazorca (m); DM = diámetro de mazorca (cm); LM = Longitud de mazorca (cm); NHM = Número de hileras de la mazorca; POM = Peso de olote por mazorca (g); PGM = Peso de grano por mazorca (g); PVG = Peso volumétrico del grano (g L⁻¹); RGP = Rendimiento de grano por parcela (kg); ns = No significativo (P>0.05); * = Significativo a 5 %; ** = Significativo a 1 %.

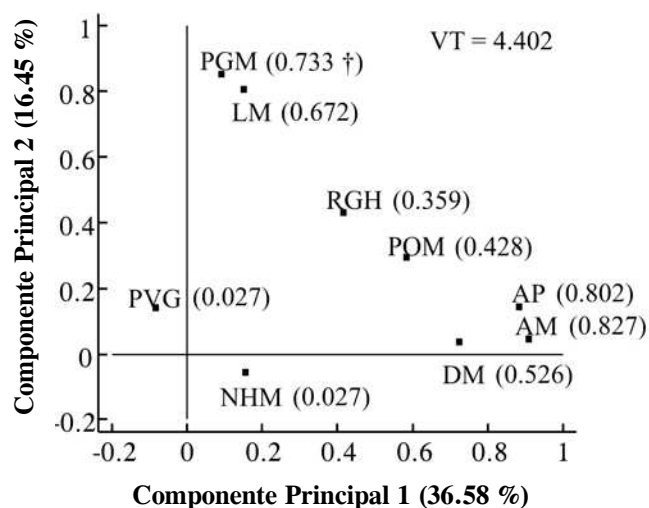


Figura 1. Correlaciones entre las variables analizadas y las dos primeras componentes principales (VT = Varianza total explicada por las dos primeras componentes principales = 53.0 %).

† Sumas de coeficientes de determinación de la variable en las dos primeras componentes principales.

El agrupamiento de las 30 poblaciones en función de las nueve variables analizadas, con una distancia euclidiana promedio de 26.78, dio lugar a tres grupos (Figura 2). En el grupo 1, se encuentran las poblaciones 1, 4, 8, 9, 10, 11, 29 y 30, colectadas en Cabecera Municipal (CM); las poblaciones 13 y 14 provienen de San Marcos de la Cruz (SMC); las poblaciones 23 y 26 fueron proporcionadas por agricultores de San Lorenzo Cuauhtenco (SLC) y la población 24 es originaria de Santa María Nativitas (SMN). En el grupo 2 se identificaron a las poblaciones 2 y 6 (de CM), 15, 16 y 20 (de SMC) y 22 (de SDH); este grupo, en promedio, superó en 10 cm la altura de planta del grupo 3. El grupo 3 estuvo constituido por las poblaciones 3, 5 y 7 (de CM), 12, 17, 18 y 19 (de SMC), 25, 27 y 28 (de SLC) y 21 (de SDH); las poblaciones 3, 5, 7, 19 y 21 fueron las de mayor rendimiento y, en general, en este grupo se ubicaron los genotipos con mayores dimensiones de planta (AP, AM, LM y PGM). El agrupamiento de las poblaciones de Cacahuacintle sólo coincidió parcialmente con la localidad en la que éstas se colectaron; tal vez debido al intercambio de semilla que los agricultores realizan a través de años y localidades (Aguilar *et al.*, 1999; Herrera *et al.*, 2002; Louette y Smale, 1998). Al comparar estos resultados con los de Wellhausen *et al.* (1951), se observó que la altura de planta se incrementó en más de 40 cm, el

número de hileras en la mazorca se redujo de 15.20 a 12.39 y se mejoró el diámetro de mazorca de 4.90 a 5.54 cm.

Las estimaciones negativas de H^2 para medias de poblaciones calculadas a partir del análisis de varianza combinado para diámetro de mazorca, peso de olote por mazorca, peso de grano por mazorca y peso volumétrico de grano (Cuadro 3), sugieren que en estos caracteres no existe variabilidad genética entre poblaciones. Según Reyes (1990), la falta aparente de variabilidad podría estar relacionada con tamaños de muestra subóptimos para estimar medias y varianzas (en cada comunidad aquí se usaron 30 datos por población) y con la metodología empleada (aquí se usó el método de valores momentos del análisis de varianza). La mayor variabilidad genética se observó para altura de la planta, altura de mazorca, número de hileras de la mazorca y rendimiento de grano (H^2 de 45.9, 40.8, 47.0 y 50.2 %, respectivamente). Estos resultados podrían estar asociados con la forma en que el agricultor hace selección: elige las mazorcas de mayor tamaño o sanidad, de mayor número de hileras, de mayor peso, de granos grandes, o la combinación de dos o más de estas características (Aguilar *et al.*, 1999; Herrera *et al.*, 2002; Louette y Smale, 1998). Este tipo de selección visual recurrente podría conducir a una menor variabilidad genética o a una mayor uniformidad fenotípica en las características de la mazorca, pero favorecer una mayor variación en la altura de planta y de mazorca, debido a que el agricultor no realiza selección de planta en el campo (Cuadros 1, 2 y 3).

CONCLUSIONES

La interacción genotipo x ambiente sólo fue significativa para el número de hileras de la mazorca. Las poblaciones identificadas como 3, 5, 7, 19, 21 y 26 fueron las más sobresalientes, con rendimientos promedio en las tres localidades de 6055, 6379, 5922, 5810, 5719 y 5721 kg ha⁻¹, respectivamente, resultados que han sido comprobados en otros estudios conducidos en el Valle de Toluca. La variabilidad genética entre poblaciones (H^2) estimada con los valores esperados de los cuadrados medios no fue confiable, debido a que se obtuvieron porcentajes negativos en cuatro de las nueve variables evaluadas; la mayor variabilidad genética correspondió a altura de planta, altura de mazorca, número de hileras de la mazorca y rendimiento de grano (H^2 de 45.9, 40.8, 47.0 y 50.2 %, respectivamente).

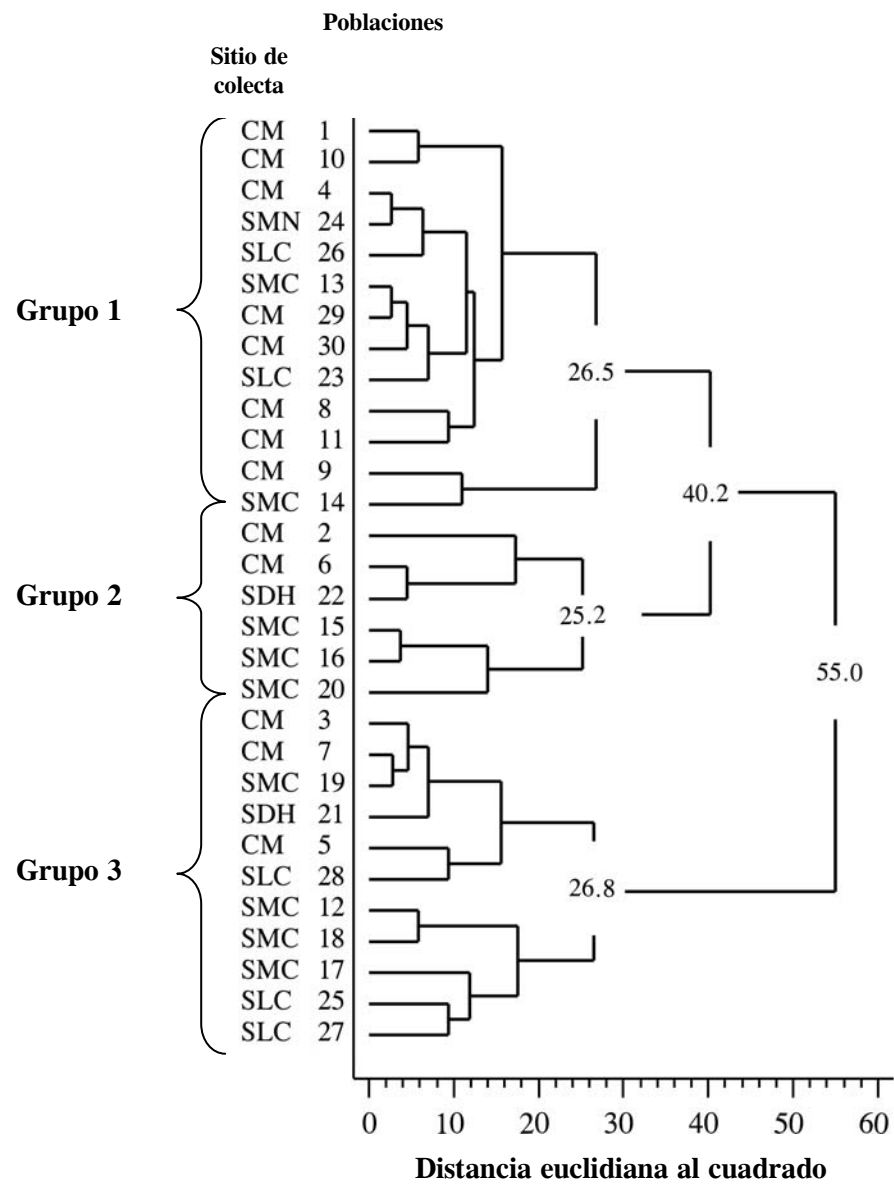


Figura 2. Agrupación de las 30 poblaciones de maíz Cacahuacintle con base en la distancia euclidiana al cuadrado.

Cuadro 3. Heredabilidad en sentido amplio (H^2) en porcentaje para las variables indicadas en la evaluación de 30 poblaciones de maíz Cacahuacintle en tres localidades del Valle de Toluca, 1999.

Localidades del Valle de Toluca	Estimaciones de H^2 para las variables morfológicas [†]								
	AP	AM	DM	LM	NHM	POM	PGM	PVG	RGP
Calimaya de Díaz González	30.5	37.7	-14.8	-11.1	26.3	-31.3	60.1	-41.7	53.4
San Marcos de la Cruz	49.5	22.7	53.8	53.6	53.8	58.8	-51.0	31.1	23.2
San Diego La Huerta	3.9	14.2	22.2	24.1	41.7	-17.2	-3.6	-32.8	92.2
Análisis combinado	45.9	40.8	-14.2	15.9	47.0	-20.5	-37.2	-19.0	50.2

[†] AP = Altura de planta; AM = Altura de mazorca; LM = Longitud de mazorca; DM = Diámetro de mazorca; NHM = Número de hileras de la mazorca; POM = Peso de olote por mazorca; PGM = Peso de grano por mazorca; PVG = Peso volumétrico del grano; RGP = Rendimiento de grano.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por la Universidad Autónoma del Estado de México y el H. Ayuntamiento de Calimaya. Los autores agradecen a los 30 agricultores de este municipio que donaron semilla, y especialmente a Don Luis Aguilar Morales, Don Juan Reyes Carmona y Don Inocente Arellano Álvarez, por permitirnos establecer los tres experimentos en terrenos de su propiedad y por financiar parcialmente las actividades efectuadas en campo. Nuestro sincero agradecimiento a los tres árbitros anónimos quienes contribuyeron a mejorar la presentación y el contenido del manuscrito original.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar M L B, G Calvo C, F I Nájera M, R Serrato C, V Landeros F, D J Pérez L, C Esquivel A, A González H (1999) Agrodiversidad en la raza de maíz Cacahuacintle en Calimaya, México. *In: Seminario Internacional sobre Agrodiversidad Campesina*. C Arriaga J (ed). Centro de Investigación en Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. 12 - 14 de Mayo, 1999. pp:84-89.
- Eagles H A, J E Lothrop (1994) Highland maize from Central Mexico- Its origin, characteristics, and use in breeding programs. *Crop Sci.* 34 (1):11-19.
- González H A, L B Aguilar M, F I Nájera M, G Calvo C, J Sahagún C, D J Pérez L, V Landeros F, R Serrato C (1999) Problemática ambiental y análisis económico de la agricultura del municipio de Calimaya de Díaz González, México. *In: Memoria del Primer Seminario Internacional Tecnología - Industria - Territorio*. Universidad Autónoma de Querétaro - Instituto Politécnico Nacional. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. 2 - 4 de Septiembre, 1999. pp:9-16.
- Herrera C B E, A Macías L, R Díaz R, M Valadez R, A Delgado A (2002) Uso de semilla criolla y caracteres de mazorca para la selección de semilla de maíz en México. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(1):17-24.
- Johnson R A, D W Wichern (1999) *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 4th ed. Prentice Hall. 816 p.
- Louette D, M Smale (1998) Farmers' Seed Selection Practices and Maize Variety Characteristics in a Traditionally-Based Mexican Community. CIMMYT Economics Working Paper No. 98-04, México, D. F. 28 p.
- Martínez G A (1994) *Experimentación Agrícola. Métodos Estadísticos*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 358 p.
- Ramos R A, F Gerón X (1998) Origen y distribución geográfica, diversidad y potencial productivo de la raza de maíz Cacahuacintle. *In: Seminario Mesoamericano sobre Agrodiversidad en la Agricultura Campesina*. UAEM. Toluca, México. 28 - 30 de Abril, 1998. pp:89-94.
- Reyes C P (1990) *El Maíz y su Cultivo*. AGT- Editor, S.A. México. D. F. pp:2-22.
- Sahagún C J (1998) Evaluaciones genotípicas en serie de experimentos. Germen. *Boletín de Intercambio Técnico y Científico*. No. 14. Sociedad Mexicana de Fitogenética. 40 p.
- Wellhausen E J, L M Roberts, E Hernández X, en colaboración con P C Mangelsdorf (1951) Razas de Maíz en México, su origen, características y distribución. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D. F. Folleto Técnico No. 5. México, D. F. 237 p.