

## DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE MAÍCES NATIVOS DEL VALLE DE PUEBLA\*

### MORPHOLOGICAL DIVERSITY OF MAIZE LANDRACES FROM THE PUEBLA VALLEY

René Hortelano Santa Rosa<sup>1</sup>, Abel Gil Muñoz<sup>2§</sup>, Amalio Santacruz Varela<sup>1</sup>, Salvador Miranda Colín<sup>1</sup> y Leobigildo Córdova Téllez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados, km 36.5 carretera México-Texcoco, C. P. 56230 Montecillo, Texcoco, Estado de México. <sup>2</sup>Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional, Colegio de Postgraduados *Campus* Puebla. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: gila@colpos.mx

#### RESUMEN

El objetivo de este estudio fue conocer el nivel de diversidad morfológica y los tipos raciales de los maíces nativos de la región del Valle de Puebla, Puebla, durante el año 2004 se evaluaron 58 muestras provenientes de 35 comunidades ubicadas en las microregiones de La Malinche, Iztaccíhuatl-Popocatepetl y valle, así como seis testigos de las razas Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño y Cacahuacintle. Los experimentos se establecieron en tres localidades, una de cada microregión. En cada muestra se midieron 21 caracteres morfológicos. El análisis de varianza indicó diferencias altamente significativas entre muestras para todas las variables, evidenciando la existencia de una amplia variabilidad morfológica. Los análisis de componentes principales y de agrupamiento con 18 caracteres seleccionados diferenciaron a las muestras en dos conjuntos basados en la coloración de grano: uno de grano pigmentado y otro de grano blanco. El primero presentó valores menores en las variables de tipo fenológico, vegetativo, mazorca y grano, mientras que el segundo tuvo valores altos en los caracteres mencionados. Al interior de los grupos se presentó una diferencia gradual y continua de caracteres, lo que permitió formar subgrupos. Las evidencias disponibles indican que los maíces nativos del Valle de Puebla presentan divergencia de los materiales Cónicos, y cierto grado de similitud hacia los de tipo Chalqueño, particularmente con la variante Challo Crema. La similitud fue más evidente en los materiales de grano blanco, pues los pigmentados se apartaron notablemente de los chalqueños. Se detectó la presencia, aunque escasa, de poblaciones afines a la raza Cacahuacintle.

**Palabras clave:** Diversidad genética, razas de maíz, raza Chalqueño, raza Cónico.

#### ABSTRACT

To assess the existing level of morphological diversity, and the racial types present among maize landraces in the Puebla Valley region, Puebla, Mexico, an evaluation was conducted during the year 2004. It included a set of 58 samples from 35 communities located in the microregions La Malinche, Iztaccíhuatl-Popocatepetl and Valle, as well as six controls, representatives of the Conico, Conico Norteño, Chalqueño and Cacahuacintle races. Experiments were planted at three locations, one for every microregion. For each sample, 21 morphological traits were recorded. The analysis of variance indicated highly significant differences among samples for all variables. This was taken as an evidence of the presence of a considerable morphological variability. The principal components and cluster analyses based on 18 selected traits divided the samples in two sets, considering grain color: the pigmented ones and the white ones. The first group had the lower values for phenological, vegetative, ear and grain traits, while the second had higher values for the same variables. A progressive and continuous differentiation of traits within each major group was detected, which allowed the definition of subgroups. The available evidences indicate that the landraces from the Puebla Valley, diverge from the Conico type materials, and have some similarity with

\* Recibido: Junio de 2006

Aceptado: Septiembre de 2007

Chalqueño types, mainly with the Chalco Crema subtype. The similarity was more evident among the white grain materials since the pigmented ones departed notably from the subtype mentioned. The presence, although scarce, of samples related to the Cacahuacintle race was detected.

**Key words:** Conico Race, Chalqueño Race, Genetic diversity, Maize races.

## INTRODUCCIÓN

El estado de Puebla se encuentra entre los primeros cinco a nivel nacional en cuanto a producción de maíz; ya que aporta un volumen de producción de 855 242 53 t, el cual representa 4.27% de lo generado en México. Datos del INEGI (2005) indican que en dicho estado, de un total de 926 125 ha destinadas a la agricultura, 60.97% sembró con maíz; 91.3% de tal superficie se cultivó bajo condiciones de temporal. Otro aspecto relevante es que se emplean predominantemente variedades nativas; al respecto, INEGI (2002) refiere a que tal utilización alcanzó 90.2% en 2001. Al interior del estado, el Distrito de Desarrollo Rural 05 Cholula, el cual abarca la región conocida como el Valle de Puebla, ocupa el segundo lugar en importancia en cuanto a producción de maíz, y reproduce las tendencias presentes a nivel estatal; en donde el cultivo se desarrolla fundamentalmente bajo condiciones de temporal y con el empleo de semilla nativa.

Trabajos de investigación realizados en el Valle de Puebla y condensados por Muñoz (2003) y Gil *et al.* (2004) han evidenciado la existencia de una variabilidad considerable entre las poblaciones nativas tanto en coloración de grano como en caracteres agronómicos, la cual puede agruparse en un patrón varietal, sistema que conjunta los grupos de poblaciones, los estratos o niveles ambientales y las relaciones que se presentan entre ellos (Muñoz, 2003). El patrón varietal de la región de estudio está integrado por variedades con grano de color blanco, azul, pinto, amarillo y rojo, y abarca tres niveles de precocidad: precoz, intermedio y tardío (López *et al.*, 1996). En el trabajo de Wellhausen *et al.* (1951) se consigna la presencia de las razas Chalqueño y Cónico, mientras que Cervantes y Mejía (1984), basándose en evaluaciones agronómicas y observaciones de campo realizadas entre 1971 y 1973, reportaron para dicha área una variabilidad genética comprendida entre los complejos raciales Arrocillo Amarillo, Chalqueño, Cónico y Bolita, con predominancia de Chalqueño y Cónico, formando un continuo con infiltración racial de diferente magnitud. Finalmente, Muñoz (2003) menciona que en el Valle de Puebla se encuentran los maíces Chalqueño, Cónico, Elotes cónicos y Cacahuacintle.

En este contexto, y dada la importancia del maíz en la región y el estado, así como los indicios de diversidad genética existentes y la falta de un estudio específico de caracterización racial, se desarrolló esta investigación, la cual tuvo como objetivo determinar el nivel de variabilidad morfológica existente en los maíces nativos del Valle de Puebla, y precisar cuáles son las razas de maíz presentes en la actualidad en la región de estudio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área geográfica donde se condujo la investigación fue la conocida como Valle de Puebla, delimitada en la parte Norte por el estado de Tlaxcala; en el Sur, por los municipios de Tochimilco, Atlixco, Teopantlán y Huehuetlán el Grande; hacia el Este por los municipios de Tepeaca, Cuautinchán y Tzicatlacoyan; y en el lado Oeste por las formaciones volcánicas del Iztaccíhuatl y Popocatepetl, en colindancia con los estados de México y Morelos. Una amplia porción del valle está situada entre las estribaciones de los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl al Oeste y la Malinche al Noreste. De manera más precisa, el Valle de Puebla se localiza entre los 18° 49' y 19° 28' de latitud Norte, y entre los 97° 47' y 98° 43' de longitud Oeste (INEGI, 1987). En base a criterios de ubicación geográfica y altitud, el valle se ha dividido en tres microregiones (Gil *et al.*, 2004): Iztaccíhuatl-Popocatepetl, localizada en la parte occidental y con altitudes mínimas de 2 400 msnm; La Malinche, situada al oriente del valle y a una altitud mínima de 2 600 msnm; y el valle propiamente dicho, comprendido entre ambas microregiones.

El grupo de materiales bajo estudio lo constituyeron 58 maíces nativos (Cuadro 1), colectados por el programa de mejoramiento genético del Campus Puebla entre 1999 y 2000, directamente con agricultores del Valle de Puebla, a quienes se les solicitó una muestra de 1.5 kg de la semilla que tradicionalmente empleaban para producción de grano y rastrojo. Los materiales fueron obtenidos en 32 localidades distribuidas en 13 municipios de la región (Figura 1). También se incluyeron los siguientes materiales testigo: Criollo del Mezquital (representante de la raza Cónico, grano blanco); Zac-58 (raza Cónico Norteño, grano blanco); Chalco Crema (variante de Chalqueño, grano cremoso); Chalco Palomo (variante de Chalqueño, grano blanco); Compuesto Cajetes (reportado como variante tardía de Chalqueño por Wellhausen *et al.*, 1951), y una colecta representativa de la raza Cacahuacintle. Todos estos testigos fueron provistos por el programa de mejoramiento genético de maíz del Colegio de Postgraduados.

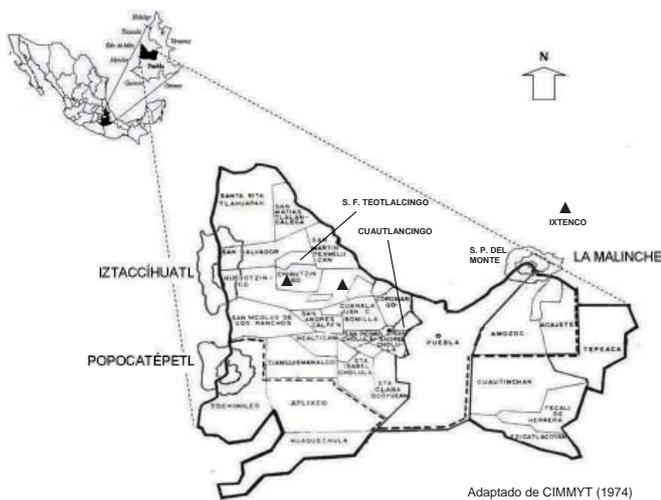
**Cuadro 1. Número de colecta, color de grano y procedencia de los maíces nativos evaluados en 2004.**

Etiqueta	Número de colecta	Color de grano	Localidad	Municipio	Altitud msnm	Región*
1	5963	Rojo	Acajete	Acajete	2420	M
2	6032	Blanco	Acajete	Acajete	2420	M
3	6097	Azul	Ntra. Sra. del Monte	Acajete	2800	M
4	6265	Blanco	Ntra. Sra. del Monte	Acajete	2800	M
5	6270	Blanco	Tepetzala	Acajete	2480	M
6	6962	Rojo	Canoa	Puebla	2600	M
7	6964	Pinto	La Resurrección	Puebla	2320	M
8	6967	Amarillo	Tepulco	Acajete	2560	M
9	6968	Blanco	Tepatlaxco	Acajete	2540	M
A	6972	Moradillo	Canoa	Puebla	2600	M
B	6980	Azul	Tepatlaxco	Acajete	2540	M
C	6981	Azul	Tepetzala	Acajete	2480	M
D	6995	Blanco	C. Canoa	Puebla	2600	M
E	7008	Blanco	C. Tepatlaxco	Acajete	2540	M
F	7013	Moradillo	La Resurrección	Puebla	2320	M
G	7016	Azul	La Resurrección	Puebla	2320	M
H	7023	Pinto	Tepulco	Acajete	2560	M
I	7040	Amarillo	Acajete	Acajete	2420	M
J	7252	Blanco	Ixtenco	Ixtenco, Tlaxcala	2500	M
K	7269	Blanco	S. Pablo del Monte	S. P. del Monte, Tlaxcala	2240	M
L	5994	Blanco	S. Juan Cuautlancingo	Cuautlancingo	2140	V
M	6004	Azul	Tianguismanalco	Tianguismanalco	2160	V
N	6008	Amarillo	S. Matías Atzala	S. Felipe Teotlancingo	2340	V
P	6013	Azul	Zacatepec	Huejotzingo	2220	V
Q	6067	Blanco	Huejotzingo	Huejotzingo	2260	V
R	6120	Blanco	S. Mateo Capultitlán	Huejotzingo	2260	V
S	6153	Blanco	Zacatepec	Huejotzingo	2220	V
T	6237	Rojo	S. Lorenzo Chiautzingo	Chiautzingo	2400	V
U	6857	Blanco	Huejotzingo	Huejotzingo	2260	V
V	6867	Blanco	S. Matías Atzala	S. Felipe Teotlancingo	2340	V
W	6892	Blanco	S. Miguel Tianguizolco	Huejotzingo	2340	V
X	6893	Azul	S. Lorenzo Chiautzingo	Chiautzingo	2400	V
Y	6903	Moradillo	S. Lorenzo Chiautzingo	Chiautzingo	2400	V
Z	6914	Pinto	S. Lorenzo Chiautzingo	Chiautzingo	2400	V
a	6922	Azul	S. Miguel Tianguizolco	Huejotzingo	2340	V
b	6929	Rojo	Tianguismanalco	Tianguismanalco	2160	V
c	7045	Amarillo	S. Simón Atzitzintla	S. Salvador el Verde	2680	V
d	7057	Blanco	S. Matías Atzala	S. Felipe Teotlancingo	2340	V
e	7061	Pinto	S. Lorenzo Chiautzingo	Chiautzingo	2400	V
f	Pinto S	Pinto	Huejotzingo	Huejotzingo	2260	V
g	5977	Azul	Sta. Rita Tlahuapan	Tlahuapan	2500	IP
h	6041	Azul	S. Juan Tlale	S. Felipe Teotlancingo	2480	IP
i	6063	Blanco	Sta. María Nepopualco	Huejotzingo	2540	IP
j	6099	Blanco	S. Francisco La Unión	Tlahuapan	2680	IP
k	6149	Blanco	S. Juan Tlale	S. Felipe Teotlancingo	2480	IP

**Cuadro 1. Número de colecta, color de grano y procedencia de los maíces nativos evaluados en 2004 (continuación).**

m	6155	Blanco	La Preciosita	Tlahuapan	2690	IP
n	6181	Blanco	S. Andrés Hueyacatitla	S. Salvador el Verde	2240	IP
o	6203	Amarillo	S. Rafael Ixtapalucan	Tlahuapan	2600	IP
p	6214	Blanco	S. Nicolás Zecalacoayan	Chiautzingo	2460	IP
q	6847	Blanco	S. Andrés Calpan	Calpan	2400	IP
r	6880	Blanco	S. Andrés Hueyacatitla	S. Salvador el Verde	2240	IP
s	6927	Moradillo	Sta. María Atexcac	Huejotzingo	2640	IP
t	7049	Rojo	S. Salvador el Verde	S. Salvador el Verde	2400	IP
u	7050	Pinto	S. Andrés Hueyacatitla	S. Salvador el Verde	2240	IP
v	7058	Azul	S. Antonio Tlaltenco	Chiautzingo	2580	IP
w	7073	Rojo	S. Pedro Yancuitlalpan	S. Nicolás de los Ranchos	2500	IP
x	7078	Azul	Santiago Xalitizintla	S. Nicolás de los Ranchos	2560	IP
y	7103	Moradillo	Sta. María Nepopualco	Huejotzingo	2540	IP

\*V= Valle; IP= Iztaccihuatl-Popocatépetl; M= La Malinche.



**Figura 1. Ubicación del Valle de Puebla y municipios de colecta de los maíces nativos estudiados (Los triángulos indican localidades de evaluación).**

Los 64 materiales se evaluaron en tres localidades del Valle de Puebla: Ixtenco, Tlaxcala (19° 15' 02" latitud norte, 97° 53' 38" longitud oeste, 2500 msnm), San Mateo Capultitlán (19° 11' 40" latitud norte, 98° 24' 54" longitud oeste, 2 260 msnm) y San Lorenzo Chiautzingo (19° 12' 06" latitud norte, 98° 28' 02" longitud oeste, 2 400 msnm) (INEGI, 1987). Las fechas de siembra respectivas fueron 26 de marzo, 3 y 7 de mayo de 2004.

Para los experimentos se utilizó un diseño látice cuadrado 8×8 con dos repeticiones (Martínez, 1988). El tamaño de la parcela experimental fue de dos surcos de 5 m de largo y 0.85 m de ancho, la parcela útil fue el total de la parcela experimental.

La siembra se realizó colocando tres semillas cada 50 cm para después de seis semanas ajustar a dos plantas por mata. La siembra y manejo del cultivo se hicieron conforme al manejo convencional de los productores de la región, utilizando las dosis de fertilización recomendadas (120-40-50 en Ixtenco; 160-70-30 en San Mateo Capultitlán y 140-60-30 en San Lorenzo Chiautzingo); en todos los casos se aplicó todo el fósforo y la mitad del nitrógeno al momento de la primera labor y aclareo, y la otra mitad del nitrógeno dos semanas después, con la segunda labor.

Tomando como referencia el trabajo de Herrera *et al.* (2000), en cada parcela experimental se registró la floración masculina y femenina en días después de la siembra, cuando 50% de las plantas de la parcela experimental presentaron emisión de polen y estigmas expuestos en el jilote superior respectivamente. Quince días después de ocurrida la floración, se marcaron cuatro plantas con competencia completa en las cuales se cuantificó la altura de planta y mazorca, longitud total de espiga, longitud promedio de ramas, longitud de rama central y pedúnculo, así como el número de ramas de la espiga.

A la cosecha se colectaron las mazorcas de las plantas previamente marcadas, y se registró el peso seco de muestra, ajustado al 14% de humedad. En cada mazorca se midió longitud y diámetro en centímetros, se contó el número de hileras y granos por hilera, y se determinó el porcentaje de grano y olote. De cada mazorca también se tomaron 10 granos de la parte central, en los cuales se determinó la longitud, ancho y grosor en centímetros, así como el volumen promedio de grano, en centímetros cúbicos, y se calculó la relación ancho de grano/longitud de grano.

Empleando los datos recabados en las tres localidades, y considerando que según Martínez (1989) las series de látices pueden analizarse como si fueran bloques al azar ordinarios, se realizó un análisis de varianza combinado bajo tal diseño a través de ambientes, empleando el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 8.0 para Windows (SAS Institute, 1999). Posteriormente, y para evitar problemas de colinealidad en análisis posteriores, se hizo una selección de variables, utilizando el método Stepwise de SAS (SAS Institute, 1999). Así, de un total de 21 caracteres evaluados en campo se seleccionaron 18 características para análisis posteriores.

Los promedios por población de las variables morfológicas seleccionadas en el paso anterior fueron estandarizados; con esta información se procedió a practicar un análisis de componentes principales, recurriendo al procedimiento PRINCOMP de SAS (SAS Institute, 1999). Además, se efectuó un análisis de conglomerados con el paquete estadístico NTSYS-pc (Rohlf, 1993) utilizando las medias estandarizadas de los 18 caracteres seleccionados. Para este análisis se usó el sistema multivariado de taxonomía numérica que permitió estimar la matriz de distancias euclidianas; el dendrograma se obtuvo por el método de agrupamiento UPGMA.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado indicó que para la fuente de variación maíces nativos se presentaron diferencias altamente significativas en 20 variables y significativas en una, diámetro de mazorca (Cuadro 2). Para ambientes, se presentaron diferencias altamente significativas en 15 variables y significativas en diámetro de mazorca; no hubo variación significativa en las variables peso seco de muestra, porcentaje de grano, porcentaje de olote, granos por hilera y ancho de grano. Finalmente, en el caso de la interacción maíces nativos x ambientes, sólo hubo diferencias significativas en tres de las 21 variables evaluadas: altura de planta, granos por hilera y relación ancho/longitud de grano.

La presencia de diferencias estadísticas entre maíces nativos es un indicador de la existencia de diversidad genética entre ellas, así como del nivel de variación presente para los caracteres evaluados en este estudio. Estos resultados concuerdan con el reporte hecho por Muñoz (2003), quien menciona que en el Valle de Puebla se presenta una amplia variación en los maíces nativos en cuanto a coloración de grano, ciclo vegetativo, forma y tamaño de mazorca,

entre otras características. Esta variabilidad es atribuible a la selección que ha practicado el productor para tipo y color de grano, forma y tamaño de la mazorca, número de hileras, grosor de olote y precocidad, entre otros criterios de selección.

Las diferencias detectadas para ambientes indican que éstos influyeron en el nivel de variación de algunas características. No obstante lo anterior, el hecho de que la interacción maíces nativos x ambientes haya resultado no significativa en 18 de las 21 variables implica que, aún cuando los ambientes de evaluación causaron variaciones en el nivel de expresión de los caracteres estudiados, estas variaciones fueron constantes y similares entre maíces nativos, independientemente del ambiente. Ello se debe a que los caracteres evaluados se han reportado como estables en cuanto a su expresión (Wellhausen *et al.*, 1951; Herrera *et al.*, 2000; Sánchez *et al.*, 2000), por lo que han sido recomendados para estudios de caracterización racial o de diversidad genética.

La aplicación del método Stepwise de SAS (SAS Institute, 1999) a las 21 variables evaluadas en campo, indicó que para análisis posteriores debían descartarse tres (porcentaje de olote, longitud de la rama central y del pedúnculo de la espiga) debido a que mostraban colinealidad. El análisis de componentes principales, aplicado a los promedios por material para las 18 variables seleccionadas, mostró que el primer componente (CP1), con un valor característico de 6.08, explicó el 34.5% del total de la varianza, mientras que el segundo (CP2), con un valor característico de 3.73, explicó el 21.2%. Así, en conjunto, explicaron 55.7% de la variación fenotípica observada (Cuadro 3).

Las variables originales con mayor influencia en el primer componente fueron de tipo vegetativo, como altura de planta y mazorca, longitud total de espiga, longitud promedio de ramas, y de tipo fenológico, como días a floración masculina y femenina. Para el caso del segundo componente, las variables originales de mayor valor discriminatorio fueron el diámetro de mazorca y caracteres de grano, como longitud, ancho y volumen (Cuadro 3).

Al ubicar los materiales en un plano determinado por los dos primeros componentes principales (Figura 2), se pudo observar que la mayor parte de ellos se distribuyó en dos grupos, que aglutinaron a los maíces nativos con base en color de grano: el primero incluyó a la gran mayoría de los materiales de grano azul, amarillo, moradillo, rojo y pinto (82% del total evaluado), y el segundo, esencialmente a

**Cuadro 2. Cuadrados medios, media y coeficiente de variación del análisis combinado de 21 variables morfológicas evaluadas en 58 poblaciones criollas de maíz del Valle de Puebla y seis testigos, en 2004.**

Variable	Cuadrados medios				Media	CV (%)
	Maíces nativos (M. N.)	Ambientes	M. N. × Amb.	Error		
Días a floración masculina	237.47 **	17225.89 **	5.370 ns	5.25	93.90	2.44
Días a floración femenina	300.15 **	21382.58 **	7.350 ns	6.60	99.24	2.58
Altura de planta	4030.26 **	63818.78 **	265.010 *	183.27	302.40	4.47
Altura de mazorca	3953.71 **	33006.98 **	190.620 ns	186.75	163.04	8.36
Peso seco de muestra	53813.35 **	1022.67 ns	8472.740 ns	8182.85	692.73	13.05
Porcentaje de grano	18.88 **	2.23 ns	2.200 ns	1.59	90.85	1.38
Porcentaje de olote	18.88 **	2.23 ns	2.20 ns	1.59	9.14	13.79
Longitud de mazorca	5.23 **	14.47 **	1.280 ns	1.22	14.58	7.60
Diámetro de mazorca	0.54 *	1.18 *	0.060 ns	0.058	4.66	5.17
Número de hileras	12.05 **	10.24 **	1.220 ns	1.03	15.26	6.65
Granos por hilera	29.32 **	14.93 ns	8.230 *	6.31	28.86	8.70
Ancho de grano	0.018 **	0.0001 ns	0.002 ns	0.001	0.81	5.11
Longitud de grano	0.07 **	1.61 **	0.010 ns	0.008	1.52	5.89
Grosor de grano	0.003 **	0.022 **	0.0008 ns	0.0006	0.42	6.25
Ancho/longitud de grano	0.014 **	0.22 **	0.002 *	0.0012	0.54	6.46
Volumen de grano	0.031 **	0.067 **	0.004 ns	0.0035	0.52	11.30
Número de ramas de espiga	37.16 **	219.09 **	7.470 ns	7.58	10.55	26.08
Longitud total de espiga	50.44 **	160.23 **	11.530 ns	10.71	40.91	8.00
Longitud promedio de ramas	52.87 **	287.56 **	15.010 ns	12.16	33.28	10.47
Longitud de rama central	37.06 **	149.10 **	12.470 ns	10.96	27.51	12.03
Longitud del pedúnculo	8.62 **	42.29 **	3.950 ns	5.28	7.62	30.14

\*= significancia al 5%; \*\*= significancia al 1%; ns= no significativo; CV= coeficiente de variación.

maíces nativos de grano blanco (50% del total evaluado). En consecuencia, los grupos se denominaron respectivamente de “grano pigmentado” y “grano blanco”. Cabe señalar que aún cuando color de grano fue una característica no incluida en el análisis de componentes principales, la evaluación conjunta de los 18 atributos morfológicos considerados resultó en una distribución de los materiales en la cual la coloración, más no la microrregión de procedencia o los tipos raciales, constituyó un criterio importante, de agrupamiento.

El grupo “grano pigmentado” quedó integrado por 40 maíces nativos, de los cuales 28 presentaron coloración de grano en sus diferentes tonalidades y 12 fueron de grano blanco; entre estas últimas estuvieron tres de tipo Cacahuacintle, una de ellas el testigo representante de esa raza (Figura 2). Los maíces nativos de este grupo, comparados con los del “grano blanco”, fueron más precoces y tendieron a presentar un menor porte de planta y una inserción de mazorca más

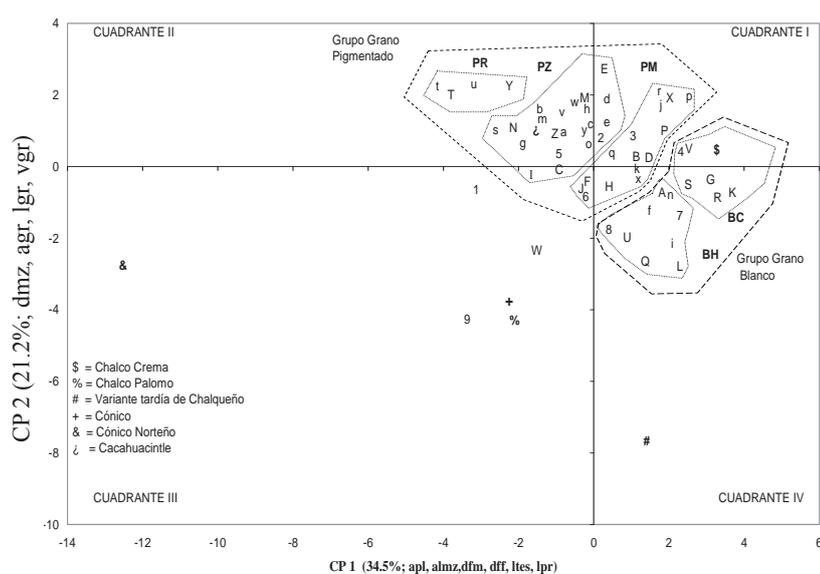
baja, así como espigas más cortas y menos ramificadas. Por otra parte los granos tendieron a ser más largos, anchos y de mayor volumen (Cuadro 4). El grupo “grano blanco” se formó por 15 maíces nativos de los cuales 12 presentaron color blanco de grano. En este conjunto quedó incluido el testigo representante de Chalco Crema (Figura 2). Los materiales de este grupo fueron más tardíos, con plantas más altas y con mazorcas ubicadas a mayor altura. Adicionalmente, tuvieron espigas más largas y ramificadas. Sus granos tendieron a ser más cortos, delgados y de menor volumen que los del grupo “grano pigmentado” (Cuadro 4).

Un análisis más detallado de los grupos reveló que al interior de los mismos era posible identificar subgrupos. En el caso del grupo “grano pigmentado” se precisaron tres: PR (pigmentado con dominancia de color rojo), PZ (pigmentado con dominancia de azul) y PM (pigmentado con colores mezclados), los cuales se distinguieron por el incremento gradual (en el orden citado) de los promedios de diámetro

**Cuadro 3. Vectores característicos, valor característico y proporción de varianza explicada por los tres primeros componentes principales para 18 variables evaluadas en 58 maíces nativos del Valle de Puebla y seis razas de referencia, 2004.**

Variables	Vectores característicos		
	CP1 [6.08] <sup>1</sup> (34.5%) <sup>2</sup>	CP2 [3.73] <sup>1</sup> (21.2%) <sup>2</sup>	CP3 [2.69] <sup>1</sup> (15.2%) <sup>2</sup>
Altura de planta	0.376	-0.028	0.104
Altura de mazorca	0.337	-0.062	0.155
Días a floración masculina	0.294	-0.272	0.194
Días a floración femenina	0.310	-0.240	0.154
Núm. de ramificaciones de espiga	0.108	-0.132	0.152
Longitud total de espiga	0.290	0.035	0.088
Longitud promedio de ramas	0.317	-0.087	0.105
Peso seco de muestra	0.286	0.288	-0.124
Porcentaje de grano	0.020	0.278	-0.286
Longitud de mazorca	0.287	0.109	0.030
Diámetro de mazorca	0.207	0.326	-0.068
Número de hileras en mazorca	0.208	-0.135	-0.197
Número de granos por hilera	0.242	-0.102	-0.297
Ancho de grano	-0.041	0.348	0.352
Longitud de grano	0.151	0.364	-0.263
Grosor de grano	0.029	0.215	0.353
Ancho/longitud de grano	-0.166	-0.025	0.507
Volumen de grano	0.068	0.481	0.240

<sup>1</sup>valor característico del componente; <sup>2</sup>porcentaje de varianza explicado por cada componente.



**Figura 2. Dispersión de 58 maíces nativos y seis razas de referencia, con base en los dos primeros componentes principales del análisis de 18 variables evaluadas en 2004. Símbolos de muestras en el Cuadro 1.**

**Cuadro 4. Promedios para 10 caracteres de grupos identificados en 58 maíces nativos y seis testigos con base en los dos primeros componentes principales.**

Grupo	Subgrupo	dfm <sup>1</sup> (días)	dff (días)	apl (cm)	almz (cm)	dmz (cm)	agr (cm)	lgr (cm)	vgr (cm <sup>3</sup> )	ltes (cm)	lpr (cm)
Grano pigmentado	PR	86	89	270.3	132.2	4.6	0.89	1.53	0.60	39.8	24.6
	PZ	90	95	295.8	158.9	4.7	0.84	1.57	0.56	39.9	26.3
	PM	96	102	313.1	173.1	4.8	0.83	1.58	0.55	41.3	28.3
	Media	91	95	293.1	154.7	4.7	0.9	1.6	0.6	40.3	26.4
Grano Blanco	BH	98	104	318.8	178.0	4.5	0.77	1.47	0.46	42.4	29.5
	BC	99	105	328.9	183.8	4.9	0.80	1.56	0.53	43.8	30.1
	Media	99	105	323.8	180.9	4.7	0.8	1.5	0.5	43.1	29.8
Testigos	Cacahuacintle	90	95	300.8	159.7	4.7	0.94	1.36	0.59	42.5	28.0
	Comp. Cajetes	120	123	354.4	245.2	3.8	0.79	1.20	0.38	38.3	29.3
	Chalco Crema	99	107	335.6	186.9	4.9	0.79	1.64	0.56	45.4	33.3
	Chalco Palomo	101	107	283.1	132.8	4.6	0.67	1.52	0.37	38.8	25.7
	Zac-58	75	77	185.2	60.0	3.8	0.77	1.23	0.38	28.6	20.4
	Cr. Mezquital	90	95	267.6	131.4	4.3	0.68	1.36	0.33	40.9	26.8

<sup>1</sup>dfm= días a floración masculina; dff= días a floración femenina; apl= altura de planta; almz= altura de mazorca; dmz= diámetro de mazorca; agr= ancho de grano; lgr= longitud de grano; vgr= volumen de grano; ltes= longitud total de la espiga; lpr= longitud promedio de ramas.

de mazorca, longitud de espiga y de rama central, aunque la mayor diferencia se observó en las variables: días a floración femenina y masculina, y altura de planta y mazorca (Figura 2, Cuadro 4). Fue en el último subgrupo en el cual quedó incluido el testigo de la raza Cacahuacintle.

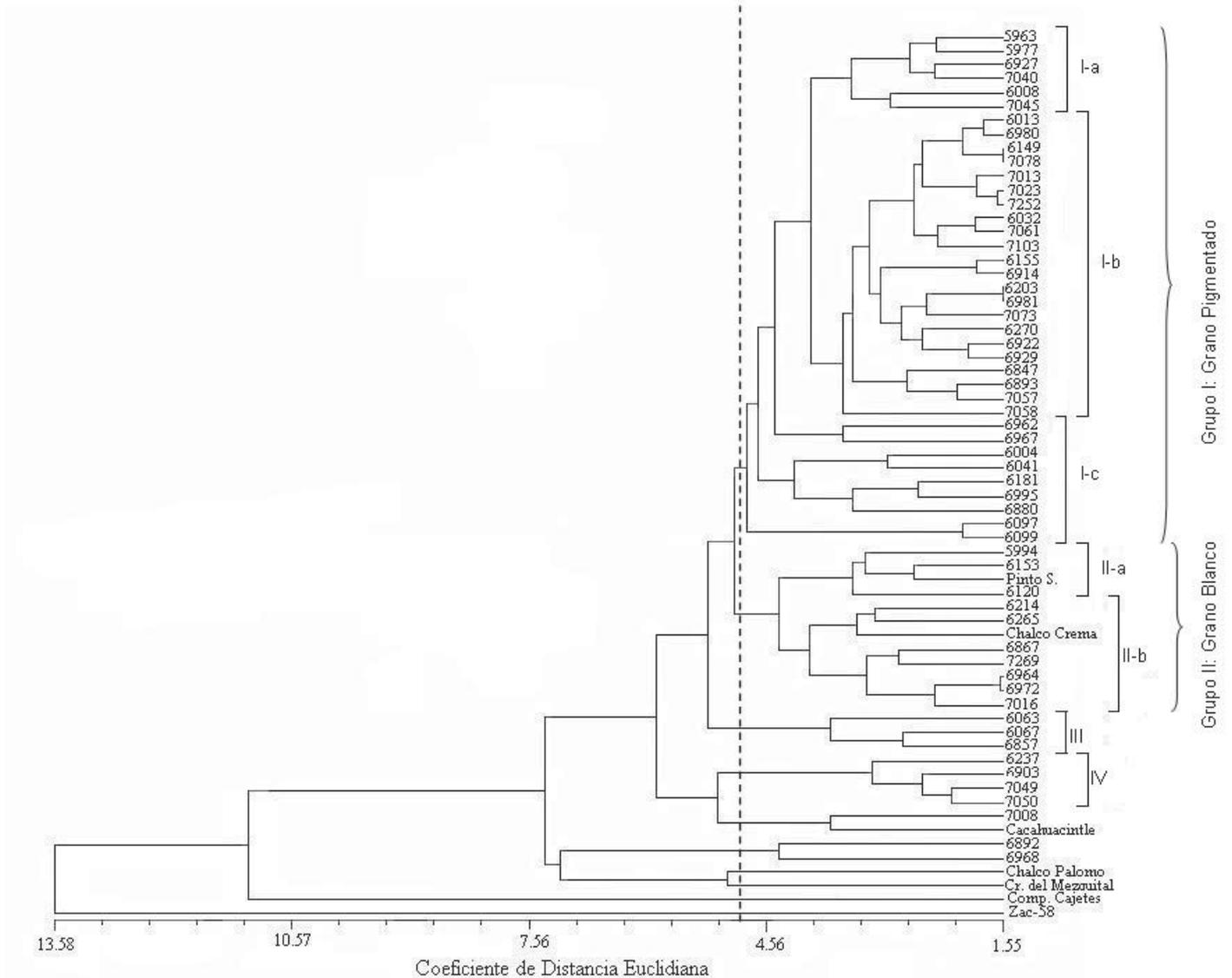
En el grupo “grano blanco” se distinguieron dos subgrupos, BH (grano blanco heterogéneo) y BC (blanco con similitud a Chalco Crema). Los maíces nativos del primero tendieron a presentar una altura de planta y mazorca menor, así como mazorcas más angostas y granos más pequeños (Cuadro 4). Dado que el testigo Chalco Crema quedó incluido en el segundo subgrupo, es factible inferir que las poblaciones nativas contenidas en el mismo guardan mayor relación con materiales de tipo Chalqueño, en particular con Chalco Crema, que con el Chalco Palomo, el cual se mantuvo distante de los agrupamientos (Figura 2).

En cuanto a los materiales dispersos (Figura 2), el representante de la raza Cónico Norteño (Zac-58), se mantuvo lejos de los agrupamientos y fue el material con las características morfológicas más extremas (más precoz y de menor porte) (Cuadro 4). Una situación similar ocurrió con la variante tardía de Chalqueño (Compuesto Cajetes), la cual se localizó a una distancia considerable de los grupos definidos. En el cuadrante III, se presentaron muy próximos entre sí el Cónico (Criollo

del Mezquital) y Chalco Palomo, pero sin relación aparente con los agrupamientos (Figura 2). También se observó que las magnitudes en las medias de las variables en los maíces nativos son más elevadas que las de los materiales representativos de tipo Cónico (Cuadro 4).

En función de los resultados anteriores y del hecho de que en los agrupamientos formados quedaron incluidos los testigos Chalco Crema y Cacahuacintle, se presume que los maíces nativos cultivados actualmente en el Valle de Puebla, tienen mayor similitud con esos grupos raciales de maíz que con los materiales de tipo Cónico utilizados. Otro aspecto relevante que se deriva de los resultados es que existe una variación continua en cuanto a la expresión de caracteres morfológicos entre los maíces nativos del área de estudio, con una fracción diferenciada en torno al Chalco Crema, predominantemente de grano color blanco, y una cierta relación con los maíces de tipo Cacahuacintle más harinosos, incluidos en el agrupamiento de grano pigmentado.

Para definir relaciones de similitud más precisas entre los maíces nativos, se generó un dendrograma con base en las 18 variables seleccionadas. A una distancia de corte de 4.91 se identificaron cuatro grandes grupos; uno grande conteniendo en su mayoría poblaciones con grano pigmentado (grupo I), otro de menor tamaño que incluyó fundamentalmente poblaciones de grano



**Figura 3. Dendrograma obtenido mediante el procedimiento UPGMA utilizando 18 caracteres morfológicos de 58 maíces nativos del Valle de Puebla y seis testigos en 2004.**

blanco (grupo II) y dos más que se describen posteriormente (Figura 3). En términos generales, esta separación de los maíces nativos fue congruente con lo observado en el análisis de componentes principales.

En el grupo “I” se distinguieron claramente dos subgrupos; el más pequeño I-a se formó con seis maíces nativos (Figura 3), todos de grano pigmentado (tres de grano amarillo, un rojo, un azul y un moradillo); pertenecientes al subgrupo PZ de componentes principales. El subgrupo I-b (Figura 3) se formó con 22 maíces nativos, siete de ellos de grano azul, otros siete de grano blanco, y el resto con diferentes coloraciones. Finalmente, se observó un conjunto de materiales (I-c) que no formaron un subgrupo

definido (Figura 3) y en el cual estuvieron presentes maíces nativos tanto pigmentados (cinco) como de grano blanco (cuatro). Tanto los maíces nativos del grupo I-b como los del conjunto I-c pertenecieron a los subgrupos PZ y PM de componentes principales. No se presentó tendencia alguna a separarse por zona de procedencia, ya que las poblaciones que formaron los agrupamientos provinieron de las tres regiones de colecta (Figura 3). Ninguno de los subgrupos del grupo grano pigmentado incluyó algún maíz testigo, a pesar de que se incluyeron representantes de las razas que se habían reportado como más comunes en el área de procedencia de las colectas (Cervantes y Mejía, 1984), particularmente de la raza Cónico y de la raza Chalqueño, con sus variantes Chalco Palomo y Chalco Crema (Herrera *et al.*, 2004).

Lo anterior es importante ya que posiblemente los maíces nativos estén bajo un proceso de diferenciación, particularmente los de grano pigmentado, hacia algún tipo de maíz que no alcanzó a cubrir el espectro de los materiales utilizados como testigos.

El grupo II (grano blanco) se separó en dos subgrupos; el más pequeño (II-a) se formó con cuatro maíces nativos de grano blanco, todos provenientes del valle. El subgrupo II-b quedó integrado por siete maíces nativos, cuatro de grano blanco, uno azul, uno moradillo y un pinto; ninguno de ellos de la microrregión del valle. Dos aspectos relevantes fueron el que la mayor parte de los materiales del grupo II pertenecieron al subgrupo BC de componentes principales, y que el subgrupo II-b incluyó al testigo Chalco Crema, lo que sugiere la existencia de cierta afinidad entre los maíces estudiados y la variante racial mencionada, tal como se había observado en la Figura 2.

Se detectó un tercer agrupamiento que se denominó grupo III (Figura 3), el cual estuvo constituido por tres maíces de grano blanco, y se mantuvo en posición intermedia entre los maíces afines a Chalco Crema (Subgrupo II-b) y el grupo IV, que incluyó a materiales pigmentados, ninguno de ellos de La Malinche. Cabe señalar que la muestra 7008 fue la única que se agrupó con el testigo de la raza Cacahuacintle, lo cual se explica por el hecho de que estaba registrada como tal (Figura 3).

Al igual que en el análisis de componentes principales, se notó que los materiales 6 892 (procedente de Huejotzingo) y 6 968 (procedente de Acajete) se comportaron como independientes o alejados de los agrupamientos formados. Una situación similar ocurrió con los testigos Chalco Palomo, Criollo del Mezquital (Cónico), Zac-58 (Cónico Norteño) y Compuesto Cajetes (variante tardía de Chalqueño). Sobre el Compuesto Cajetes, Romero *et al.*, (2002) encontraron que dicho compuesto segregó como una entidad diferente al resto de poblaciones típicas de la raza Chalqueño, lo que está en concordancia con los resultados de este estudio.

Los resultados obtenidos en esta investigación evidenciaron que los maíces nativos de la zona del Valle de Puebla, sobre todo los de grano blanco, están más relacionados con la raza Chalqueño que con las razas Cónico o Cónico Norteño, y que la semejanza es mayor con la variante Chalco Crema. También indicaron que existe cierta presencia, aunque escasa, de materiales afines a Cacahuacintle, y que los maíces nativos con grano pigmentado no guardaron relación evidente con las

razas empleadas como testigo. Estos resultados concuerdan parcialmente con lo consignado por Wellhausen *et al.* (1951) y Cervantes y Mejía (1984) en el sentido de que en el área de estudio existen materiales pertenecientes a la raza Chalqueño, pero no apoyan los reportes de los mismos autores sobre la presencia de maíces nativos relacionados con maíces cónicos.

Ello podría atribuirse a que probablemente se está presentando un flujo génico y una recombinación importante entre los maíces nativos y/o con otros materiales introducidos. Al respecto, Wright (1976) ha indicado que en especies donde existe una distribución geográfica continua -como es el caso de los maíces nativos aquí estudiados- hay la oportunidad para un intercambio genético abundante, lo que a su vez puede dar como resultado una variación genética de tipo continuo. Otro factor puede ser la continua selección impuesta por los agricultores (Muñoz, 2003), la cual está dando como resultado una diferenciación importante con respecto a las colectas tipo o representativas de las razas previamente reportadas. Finalmente, otra posible explicación es que esté operando un cambio en los materiales sembrados hacia tipos reportados como más productivos que los cónicos, caso de los chalqueños (Wellhausen *et al.*, 1951).

Por otra parte, y tal como había sido señalado por Cervantes y Mejía (1984), entre los maíces nativos del área de estudio existe un continuo en el nivel de expresión de los caracteres morfológicos considerados, consecuencia tanto de la recombinación (Wright, 1976) como de la constante selección que está imponiendo el agricultor para adaptar sus materiales a las diferentes condiciones ambientales así como a sus requerimientos agronómicos y culinarios. La magnitud de la variación presente en el continuo es amplia, como había sido reportado por Muñoz (2003) y Gil *et al.* (2004); no obstante, puede agruparse en una primera instancia en función de la coloración del grano, ajustándose y confirmando de esta forma al patrón varietal definido para la región por López *et al.* (1996).

## CONCLUSIONES

Las evidencias experimentales confirman la existencia de una amplia variabilidad morfológica entre los maíces nativos cultivados en el Valle de Puebla. Tal variación puede agruparse en base a la coloración del grano, existiendo una separación entre los materiales de grano pigmentado y los de grano blanco.

Al interior de los dos grupos de coloración, entre las poblaciones nativas, se detectó la presencia de un continuo en el nivel de expresión de variables como días a floración, porte de planta y caracteres de mazorca y grano, el cual es atribuible a factores tales como la selección practicada por el agricultor, el movimiento e intercambio de materiales y la recombinación con otras poblaciones, nativas y/o introducidas.

Los resultados sugieren que los maíces nativos del Valle de Puebla, en su conjunto, tienen mayor afinidad con la raza Chalqueño, particularmente con la variante Chalco Crema, que con otras razas. La similitud fue más evidente en el caso de los materiales de grano blanco, ya que los de grano pigmentado se apartaron notablemente de la variante mencionada. Conviene señalar que también existen algunos maíces nativos, aunque pocos, pertenecientes a la raza Cacahuacintle.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo financiero del SIZA-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) durante los años 2004-2005 al proyecto clave 20020805012, del cual se derivó la presente investigación.

## LITERATURA CITADA

- Cervantes, S. T. y Mejía, H. A. 1984. Maíces nativos del área del Plan Puebla. Recolección de plasma germinal y evaluación del grupo tardío. *Revista Chapingo* (México) 43-44: 64-71.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 1974. The Puebla Project: Seven years of experience: 1967-1973. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. El Batán, México. p. 1-2.
- Gil, M. A.; López, P. A.; Muñoz O., A. y López S., H. 2004. Variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Puebla, México: diversidad y utilización. *In: Manejo de la diversidad de los cultivos en los agrosistemas tradicionales*. Chávez-Servia, J. L., Tuxil y D. I. Jarvis (eds.). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali Colombia. p. 18-25.
- Herrera, C. B. E.; Castillo G. F.; Sánchez, G. J. J.; Ortega, P. R. y Goodman, M. M. 2000. Caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz en una región: caso la raza Chalqueño. *Rev. Fitotec. Mex.* 23:335-354.
- Herrera, C. B. E.; Castillo, G. F.; Sánchez, G. J. J. Hernández, C. J. M y Ortega, P. R. 2004. Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38:191-206.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1987. Síntesis geográfica, nomenclator y anexo cartográfico del Estado de Puebla. México, D. F., México. p. 51.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2002. Anuario Estadístico del Estado de Puebla. Tomo II. Aguascalientes, Aguascalientes. México. p. 577-700.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005. Anuario Estadístico del Estado de Puebla. Tomo II. Aguascalientes, Aguascalientes. México. p. 859-1000.
- López, P. A.; López, S. H. y Muñoz, O. A. 1996. Selección familiar en maíces criollos del Valle de Puebla. *In: Edmeades, G. O.; Bänzinger, M.; Mickelson, H. R. and Peña-Valdivia, C. B. (eds). Proceedings of a Symposium: Developing drought and low-nitrogen tolerant maize*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz Y Trigo (CIMMYT), El Batán, México. p. 433-437.
- Martínez, G. A. 1988. Diseños Experimentales. Métodos y elementos de teoría. Ed. Trillas. México. p. 405-459.
- Martínez, G. A. 1989. Manual de diseño y análisis de los Látices. Centro de Estadística y Cálculo. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. p. 1-14 (Monografías y Manuales en Estadística y Cómputo. Vol. 8, Núm. 3).
- Muñoz, O. A. 2003. Centli-Maíz. Prehistoria e historia, diversidad, potencial, origen genético y geográfico, glosario centli-maíz. Colegio de Postgraduados - SINAREFI. Montecillo, Estado de México. p. 133-143.
- Rohlf, J. F. 1993. NTSYS-pc: Numerical taxonomy and multivariate analysis system (Ver. 1.8). Exeter Software. Department of ecology and evolution. State University of New York. N.Y.
- Romero, P. J.; Castillo, G. F. y Ortega, P. R. 2002. Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza Chalqueño. II. Grupos genéticos, divergencia y heterosis. *Rev. Fitotec. Mex. (México)* 25(1):107-115.
- Sánchez, G. J. J.; Goodman, M. M. and Stuber C. W. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany (USA)* 54(1):43-59.
- Statistical Analysis System Institute. 1999. The SAS® System for Windows® (Ver. 8.0). SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.

- Wellhausen, E. J.; Roberts, L. M. y Hernández, X. E. (en colaboración con P. C. Mangelsdorf). 1951. Razas de Maíz en México. Su origen, características y distribución. Oficina de Estudios Especiales. Secretaria de Agricultura y Ganadería. México, D. F. p. 23-47. (Folleto Técnico No. 5).
- Wright, J. W. 1976. Introduction to forest genetics. Academic Press. New York, USA. p. 254-259.