



Agrocienza

Colegio de Postgraduados

Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas

agrocien@colpos.colpos.mx

ISSN: 1405-3195

MÉXICO

2004

B. Edgar Herrera Cabrera / Fernando Castillo González / J. Jesús Sánchez González /

J. Manuel Hernández Casillas / Rafael A. Ortega Pazkca / M. Major Goodman

DIVERSIDAD DEL MAÍZ CHALQUEÑO

Agrocienza, marzo-abril, año/vol. 38, número 002

Colegio de Postgraduados

Texcoco, México

pp. 191-206

DIVERSIDAD DEL MAÍZ CHALQUEÑO

DIVERSITY OF CHALQUEÑO MAIZE

B. Edgar **Herrera-Cabrera**¹, Fernando **Castillo-González**², J. Jesús **Sánchez-González**³,
J. Manuel **Hernández-Casillas**⁴, Rafael A. **Ortega-Pazkca**⁵ y M. **Major-Goodman**⁶

¹Campus Puebla. Colegio de Postgraduados. 72130. Puebla, Puebla. Teléfono: 01 (222)285-0738 (behc@colpos.mx). ²Programa en Genética. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. Teléfono y Fax: 01 (595)2-0200 y 2-0262. ³CUCBA. Universidad de Guadalajara. 45110. Zapopan, Jalisco. Teléfono y Fax: 01(3)682-0213. ⁴CAEVAMEX. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. 56230. Chapingo, Estado de México. Teléfono: 01(595)954-2865. ⁵Centros Regionales, Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, Estado de México. Teléfono y Fax: 01(595)954-5020 y 954-3663. ⁶Dept. of Crop Science, North Carolina State University. Box 7620, Raleigh, N.C. 27695-7620.

RESUMEN

Los agricultores tradicionales practican la conservación *in situ* de la diversidad genética del maíz (*Zea mays* L.) mediante la siembra de variantes criollas. Para mejorar dicha práctica es necesario conocer la diversidad del maíz en las condiciones de la agricultura tradicional, y tener un diagnóstico del material a conservar. El objetivo del presente estudio fue evaluar la diversidad genética de poblaciones de maíz de la raza Chalqueño que se cultivan en el oriente del Estado de México, con base en caracteres morfológicos y agronómicos. Se evaluaron 104 poblaciones en cuatro ambientes y se registraron 11 caracteres morfológicos para evaluar la diversidad entre poblaciones de maíz en la región. Los resultados de un análisis de componentes principales, y otro de conglomerados, indican que las poblaciones presentan traslapes en características entre los grupos taxonómicos Palomero Toluqueño, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño-Cónico, Chalqueño cremoso, Elotes Chalqueños, Palomo, Chalqueño-Ancho, Cacahuacintle y Ancho, dentro del complejo de mazorca piramidal. Las poblaciones de la Sierra Norte de Puebla, semejantes en mazorca a Chalqueño y Mushito en Oaxaca y Michoacán, fueron diferentes del resto. La diversidad del maíz es dinámica porque, aunque predomina el Chalqueño, el Cacahuacintle se encuentra en baja frecuencia, el Ancho se distribuye de una altitud intermedia al Altiplano, y el Chalqueño amarillo presenta una fuerte reducción en su frecuencia.

Palabras clave: *Zea mays* L., conservación *in situ*, diversidad regional, grupo cónico, raza Chalqueño.

INTRODUCCIÓN

En muchas regiones de México los agricultores que cultivan variedades locales o criollas de maíz (*Zea mays*, L) en forma tradicional, contribuyen a la conservación y a la generación de la diversidad

ABSTRACT

Traditional farmers practice *in situ* conservation of the genetic diversity of maize (*Zea mays* L.) by planting criollo varieties. In order to improve such practices, it is necessary to know the diversity of the maize under traditional agriculture conditions, and to diagnose which material will be preserved. The objective of the present study was to evaluate the genetic diversity of Chalqueño maize populations, which are cultivated in the eastern region of the State of México, based on morphological and agronomical characters. Evaluations were made of 104 populations in four environments, and 11 morphological characters were recorded to assess the diversity among regional maize populations. The results from principal components and cluster analyses indicate that the populations overlapped on characteristics among the taxonomic groups Palomero Toluqueño, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño-Cónico, creamy Chalqueño, Elotes Chalqueños, Palomo, Chalqueño-Ancho, Cacahuacintle and Ancho, within the pyramidal ear complex. The populations of the Sierra Norte of Puebla, similar in ear to Chalqueño and Mushito in Oaxaca and Michoacán, were different from the rest. The diversity of maize is dynamic, for although Chalqueño is dominant, the Cacahuacintle is found with low frequency, the Ancho is distributed from an intermediate altitude to the High Plateau, and the yellow Chalqueño presents a strong reduction in frequency.

Key words: *Zea mays* L., *in situ* conservation, regional diversity, conic group, Chalqueño race.

INTRODUCTION

In many regions of México, farmers who cultivate local or criollo maize varieties (*Zea mays* L.) in a traditional manner, contribute to the conservation and generation of *in situ* genetic diversity of this crop (Bonner, 1991). The traditional farmers maintain the local varieties as they reproduce them from one generation to another (Louette and Smale, 1996), and even new types, varieties or races are generated (Hernández, 1972; Dobzhansky, 1982).

Recibido: Marzo, 2002. Aprobado: Enero, 2004.

Publicado como ENSAYO en *Agrociencia* 38: 191-206. 2004.

genética *in situ* del cultivo (Bommer, 1991). Los productores tradicionales mantienen las variedades locales al reproducirlas de una generación a otra (Louette y Smale, 1996) y llegan a formarse nuevos tipos, variedades o razas (Hernández, 1972; Dobzhansky, 1982).

La mayoría de los estudios de la diversidad genética de maíz consideran regiones como México (Sánchez *et al.*, 2000a) o el continente americano (Sánchez *et al.*, 2000b) y describen las razas y sus agrupamientos de acuerdo con la similitud de sus características morfológicas. En la descripción original de las razas de maíces mexicanos, Wellhausen *et al.* (1951) establecieron un grupo de colectas típicas para cada raza. En otros estudios se utilizó diversos tipos de información, técnicas de agrupamiento, y teorías del origen del maíz (Sánchez y Goodman, 1992; Rincón *et al.*, 1996; Benz, 1997). Así, se han identificado grupos raciales bien definidos que coinciden con las relaciones de Sánchez *et al.* (2000b).

Para promover la conservación *in situ* de variedades criollas locales, es necesario conocer la diversidad del maíz local en las condiciones de la agricultura tradicional. Así, se se hace un diagnóstico y se sugiere una estrategia para un mejor aprovechamiento de los materiales nativos. Para ello se estudió la diversidad genética de maíz de la región oriental del Estado de México, donde los maíces criollos cubren toda el área dedicada a este cultivo. El maíz que predomina en dicha área pertenece a la raza Chalqueño, descrita por Wellhausen *et al.* (1951). Al explorar el área se observó una mayor complejidad: predomina el tipo de maíz Chalqueño que es tardío, sembrado en condiciones de humedad residual, con mazorcas de forma piramidal y de grano dentado de color cremoso. Sin embargo, existen variantes dentro de este tipo, así como variantes de otros colores de grano como azul, rojo, amarillo, y blanco, e incluso poblaciones que parecieran de razas diferentes.

Esta investigación se diseñó para evaluar la diversidad genética de un grupo de poblaciones de maíz de raza Chalqueño, recolectadas en el oriente del Estado de México, con base en caracteres morfológicos y agronómicos. Esto permitirá tener una referencia del grado de complejidad de la diversidad genética del maíz criollo en el área, y sugerir opciones para mantener la agricultura tradicional. Se plantearon dos hipótesis: 1) La diversidad del maíz Chalqueño en el oriente de Estado de México es más compleja que las descripciones documentadas; 2) dentro de lo reconocido localmente como maíz criollo, hay diferencias entre las poblaciones manejadas por diferentes agricultores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

De 1996 a 1997, en los municipios de Amecameca, Atlautla, Ayapango, Chalco, Ecatingo, Juchitepec, Ozumba y Tepetlixpa, se

Most of the studies of the genetic diversity of maize take into account regions such as México (Sánchez *et al.*, 2000a) or the American continent (Sánchez *et al.*, 2000b) and describe the races and their groupings according to similarity of their morphological characteristics. In the original description of the Mexican maize races, Wellhausen *et al.*, 1951) established a group of typical samplings for each race. In other studies, different information systems, grouping techniques and theories of maize origin were used (Sánchez and Goodman, 1992; Rincón *et al.*, 1996; Benz, 1997). Thus, well defined racial groups have been described, which agree with those reported by Sánchez *et al.* (2000b).

In order to promote the *in situ* conservation of local criollo varieties, it is necessary to know the diversity of the local maize in traditional agricultural conditions. Thus, a diagnosis is made and a strategy may be suggested for a better use of the native materials. To this effect, a study was made of the genetic diversity of maize in the eastern part of the State of México, where the criollo maizes cover all of the area dedicated to this crop. The maize which predominates in the area belongs to the Chalqueño race, described by Wellhausen *et al.* (1951). After exploring the area, a greater complexity was observed: the type of maize Chalqueño is late, sown under conditions of residual moisture, with pyramidal shaped ears and cream colored, tooth shaped grains. However, there are variations within this type, as well as variations of other grain colors such as blue, red, yellow and white, and even populations which seem to be of different races.

The present study was designed to evaluate the genetic diversity of a group of maize populations of the Chalqueño race, collected in the eastern region of the State of México, based on morphological and agronomical characters. This will provide a reference about the degree of complexity of the genetic diversity of criollo maize in the region, and to suggest alternatives for maintaining traditional agriculture. Two hypotheses were formulated: 1) The diversity of the Chalqueño maize in the eastern region of the State of México is more complex than what has been documented; 2) within what is recognized locally as criollo maize, there are differences among populations cultivated by different farmers.

MATERIALS AND METHODS

Plant material

From 1996 to 1997, in the municipalities of Amecameca, Atlautla, Ayapango, Chalco, Ecatingo, Juchitepec, Ozumba and Tepetlixpa, a sampling of 30 ears was taken from each population of each maize type recognized as "different". There were 104 populations (treatments) characterized: 78 of the aforementioned region, 11 of zones similar in altitude and climate within the distribution area of the Chalqueño race (Wellhausen *et al.*, 1951), from the States of

tomó una muestra de 30 mazorcas en cada población de cada tipo de maíz reconocido como "diferente". Se caracterizaron 104 poblaciones (tratamientos): 78 de la región mencionada, 11 de zonas similares en altitud y clima dentro del área de distribución de la raza Chalqueño (Wellhausen *et al.*, 1951), de los Estados de Hidalgo, México, Michoacán, Oaxaca, Puebla y Zacatecas, recolectadas entre 1943 y 1975 y conservadas en los Bancos de Germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Ocho están identificadas como sobresalientes en evaluaciones de Valles Altos, algunas de ellas progenitoras de variedades mejoradas o híbridos (INIFAP, 1996), y siete recolecciones consideradas como típicas de las principales razas de las zonas de transición y Valles Altos: MÉX-5 (Palomero Toluqueño); MÉX-72 y PUE-32 (Cónico); GTO-144 (Cónico Norteño); HGO-7 y MÉX-37 (Chalqueño) y MOR-46 (Ancho) (Wellhausen *et al.*, 1951; Ortega *et al.*, 1991). Las recolecciones típicas se consideraron para tener una referencia de las razas de maíz que junto con el Chalqueño se reconocen como un complejo (Goodman and Brown, 1988).

Ubicación de los experimentos

Este estudio se realizó en cuatro ambientes del Estado de México: Poxtla y Tecámac en 1996, y Poxtla y Tlapala en 1997. Poxtla se localiza a 19° 08' N y 98° 46' O, con una altitud de 2470 m, temperatura media anual de 14.0 °C, precipitación promedio anual de 928 mm, y clima Cb(w₂)(w)(i')gw"; Tecámac a 19° 35' N y 98° 55' O, una altitud de 2298 m, temperatura y precipitación media anual de 14.9 °C y 586 mm, y clima Bs₁kw(w)(i')g; Tlapala, a 19° 16' N y 98° 54' O, una altitud de 2240 m, una temperatura y precipitación promedio anual de 15.1 °C y 656.9 mm, y clima Cb(w₁)(w)(i')g (García, 1988).

Manejo agronómico

Las 104 poblaciones se evaluaron en condiciones de temporal, a excepción de Tecámac, donde se aplicaron riegos de auxilio a los 15, 25, y 40 d después de la siembra. Los cuatro experimentos fueron uniformes en los cuatro ambientes y, dado que no se esperaba homogeneidad suficiente en el área experimental para los 104 tratamientos, se usó un diseño de lattice 11×10 con tres repeticiones. Los ensayos se analizaron como bloques completos al azar por la pérdida de algunas unidades experimentales, y porque la eficiencia del lattice sobre bloques completos al azar no fue mayor de 5%. La parcela experimental fue de dos surcos de 5.0 m de longitud separados a 0.85 m. Se sembraron tres semillas cada 50 cm y después de cuatro semanas se aclaró a dos plantas, para obtener una densidad de población aproximada de 45 000 plantas ha⁻¹. El terreno se preparó con un paso de rastra 30 d antes de la siembra, y tres pasos de arado: uno al momento de la siembra y los otros a los 20 y 40 d después. Se hizo deshierbe manual a los 45 y 80 d para facilitar la toma de datos. La dosis de fertilización de N P K fue 120-80-00; en la siembra se aplicó 60-80-00, el resto en el primer cultivo. No se controlaron plagas ni enfermedades para facilitar la evaluación de variables relacionadas. Las fechas de siembra fueron el 28 de abril en Poxtla (1997) y el 2, 24 y 27 de mayo en Tlapala (1997), Poxtla y Tecámac (1996).

Hidalgo, México, Michoacán, Oaxaca, Puebla and Zacatecas, collected between 1943 and 1975, and conserved in the germ plasm banks of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) and the Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Eight are identified as outstanding in evaluations of the High Valleys, some of them progenitors of improved or hybrid varieties (INIFAP, 1996), and seven samplings are considered typical of the principal races of the transition zones and the High Valleys: MÉX-5 (Palomero Toluqueño); MÉX-72 and PUE-32 (Cónico); GTO-144 (Cónico Norteño); HGO-7 and MÉX-37 (Chalqueño) and MOR-46 (Ancho) (Wellhausen *et al.*, 1951; Ortega *et al.*, 1991). The typical collections were considered for having a reference of the maize races, which along with the Chalqueño, are recognized as a complex (Goodman and Brown, 1988).

Location of the experiments

This study was carried out in four environments of the State of México: Poxtla and Tecámac in 1996, and Poxtla and Tlapala in 1997. Poxtla is located at 19° 08' N and 98° 46' W; at an altitude of 2470 m, with an average annual temperature of 14 °C, average annual rainfall of 928 mm, and climate Bs₁kw(w)(i')g; Tecámac, at 19° 35' N and 98° 55' W, at an altitude of 2298 m, average annual temperature and rainfall of 14.9 °C and 586 mm, and climate B_{s1}kw (w) (i')g; Tlapala, at 19° 16' N and 98° 54' W, at an altitude of 2240 m, average annual temperature and rainfall of 15.1 °C and 656.9 mm, and climate Cb(w₁)(w)(i')g (García, 1988).

Agronomical management

The 104 populations were evaluated in seasonal conditions, with the exception of Tecámac, where auxiliary irrigation was applied 15, 25 and 40 d after planting. The four experiments were uniform in the four environments, and given that sufficient homogeneity was not expected for the 104 treatments in the experimental area, an 11×10 lattice design was used, with three repetitions. The trials were analyzed as random complete blocks due to the loss of some experimental units, and because the efficiency of the lattice design over random complete blocks was not greater than 5%. The experimental plot consisted of two rows 5.0 m in length with 0.85 m separation. Three seeds were planted every 50 cm, and after four weeks, were thinned to two plants, in order to obtain a population density of approximately 45 000 plants ha⁻¹. The field was prepared with a harrow 30 d before planting, and three plowings: one at the moment of planting and the others 20 and 40 d later. Hand weeding were carried out at 45 and 80 d to facilitate data collection. The dosis of fertilization of N P K was 120-80-00; 60-80-00 was applied at planting, and the rest at the first till. Control was not Neither insect plagues or diseases were controlled, to facilitate the assessment of related variables. The dates of planting were April 28 in Poxtla (1997) and May 2, 24 and 27 in Tlapala (1997), Poxtla and Tecámac (1996).

In each environment, 15 to 20 d after the emission of pollen, a sample of four plants per lot was labeled to obtain the morphological data. The panicles were cut before harvest so that they would not be

En cada ambiente, 15 a 20 d después de la emisión de polen, se etiquetó una muestra de cuatro plantas por parcela para obtener los datos morfológicos. Las panículas se cortaron antes de la cosecha, a fin de que no se maltrataran y, al igual que las mazorcas superiores del tallo principal, se identificaron, secaron y guardaron para su posterior medición. En algunas parcelas se cambiaron una o dos de las plantas etiquetadas, a fin de obtener mazorcas representativas de la parcela respectiva.

Variables evaluadas

Sánchez *et al.* (1993) propusieron nueve características para la clasificación taxonómica de las razas de maíz, después de aplicar criterios de discriminación por repetibilidad de su expresión a través de ambientes (Goodman y Paterniani, 1969) y relevancia en la explicación de la variación global y evitar colinealidad. El estudio de Sánchez *et al.* (1993) fue hecho para la diversidad genética entre razas, con la caracterización de colectas típicas de cada una. En nuestro trabajo el espacio muestral estaba más enfocado a la diversidad dentro de la raza Chalqueño, por lo que podría esperarse que la relevancia de las características consideradas por Sánchez *et al.* (1993) pudiera variar.

Con objeto de evitar el problema de las diferencias en las escalas en que se midieron los caracteres vegetativos, agronómicos, de panícula y de mazorca, 59 características en total (Herrera *et al.*, 2000), se realizó la estandarización a la normal con media igual a cero y varianza igual a la unidad. Las 11 variables seleccionadas se eligieron en función de la estimación de la relación de componentes de varianza a través de la relación $r_c = \sigma_r^2 / (\sigma_a^2 + \sigma_{ra}^2)$, donde r_c = repetibilidad, σ_c^2 = estimador de la componente de varianza debido a recolecciones, σ_a^2 = estimador de la componente de varianza debida a ambientes, σ_{ca}^2 = estimador de la componente de varianza debida a la interacción entre recolecciones y ambientes. El análisis de la estructura de la matriz de correlaciones, la gráfica de Gabriel y el análisis de la variabilidad representada por cada variable a través de componentes principales. La matriz de correlaciones entre las variables permitió descartar los caracteres altamente correlacionados. Con base en dichos análisis, se puede sugerir una lista mínima de 11 características apropiadas para clasificación racial: altura de mazorca, días a la exposición de estigmas, proporción de olote en la mazorca, número de ramas de la panícula, número de hileras, diámetro de la mazorca, anchura de grano, longitud de grano, anchura/longitud de grano, volumen de grano y color de grano (Herrera *et al.*, 2000).

Clasificación racial por taxonomía numérica

Una vez definidos los caracteres para la taxonomía numérica (Herrera *et al.*, 2000), se aplicaron dos tipos de análisis numérico: componentes principales y análisis de conglomerados (Sneath y Sokal, 1973). Los análisis de conglomerados son los más usados para estudiar la diversidad genética de poblaciones (Goodman y Paterniani, 1969; Sánchez y Goodman, 1992; Sánchez *et al.*, 1993; Crossa *et al.*, 1994; Rincón *et al.*, 1996; Franco *et al.*, 1997).

Para el análisis de agrupamiento se usó los datos de medias de recolecciones de los cuatro ambientes para los 11 caracteres. La

damaged, and as it was done with the upper ears of the main stalk, were identified, dried and stored, to be analyzed later. In some plots one or two of the labeled plants were changed, in order to obtain representative ears of the respective lot.

Evaluated variables

Sánchez *et al.* (1993) proposed nine characteristics for the taxonomic classification of the maize races, after applying discrimination criteria for repeatability of expression through environments (Goodman and Paterniani, 1969) and relevance in the explanation of the global variation, avoiding colinearity. The study of Sánchez *et al.* (1993) was made for the genetic diversity among races, with the characterization of typical samplings of each race. In our investigation, the sample space was more focused on the diversity within the Chalqueño race; therefore, it could be expected that the relevance of the characteristics considered by Sánchez *et al.* (1993) could vary.

In order to avoid the problem resulting from differences in the scales with which the vegetative and agronomical characters were measured, as well as those of the panicle and ear, a total of 59 characteristics (Herrera *et al.*, 2000), standardization to normal was carried out, with the mean equal to zero and the variance equal to the unit. The 11 selected variables were chosen as a function of the estimation of the relation of variance components by means of the equation $r_c = \sigma_r^2 / (\sigma_a^2 + \sigma_{ra}^2)$, where r_c = repeatability, σ_c^2 = estimator of the variance component due to samplings, σ_a^2 = estimator of the variance component due to environments, σ_{ca}^2 = estimator of the variance components due to the interaction between samplings and environments. The analysis of the structure of the correlation matrix, the Gabriel graph and the analysis of variability are represented by each variable through principal components. The matrix of correlations among variables made it possible to discard the highly correlated characters. Based on these analyses, a minimal list of 11 characteristics appropriate for racial classification can be suggested: height of ear, days to the exposition of stigma, proportion of cob in the ear, number of branches in the panicle, number of rows, diameter of the ear, width of grain, length of grain, width/length of grain, volume of grain and color of grain (Herrera *et al.*, 2000).

Racial classification by numerical taxonomy

Once the characters for the numerical taxonomy had been defined (Herrera *et al.*, 2000), two types of numerical analyses were applied: principal components and cluster analyses (Sneath and Sokal, 1973). The cluster analyses are the most often used for studying the genetic diversity of populations (Goodman and Paterniani, 1969; Sánchez and Goodman, 1992; Sánchez *et al.*, 1993; Crossa *et al.*, 1994; Rincón *et al.*, 1996; Franco *et al.*, 1997).

For the grouping analysis, the data of means of samplings of the four environments was used for the 11 characters. The information was arranged in a 104×11 matrix; the rows corresponded to the samplings and the columns to the characters. In order to simplify the number of variables and facilitate the detection of population groups,

información se arregló en una matriz 104×11, cuyas hileras correspondieron a las recolecciones, y las columnas a los caracteres. Para simplificar el número de variables y facilitar la detección de grupos de poblaciones y encontrar el patrón de la diversidad, se aplicó el análisis de componentes principales (SAS, 1995).

El análisis de conglomerados con el paquete NTSYS-pc bajo agrupamiento UPGMA (Rohlf, 1993) se usó para conocer en qué grado el reconocimiento empírico de subtipos de la raza Chalqueño puede sistematizarse numéricamente, así como el grado de diferenciación o semejanza con las poblaciones típicas del Chalqueño. Las recolecciones se clasificaron en cinco grupos homogéneos en función de las distancias e inspección del dendrograma, en el que el punto de corte para la formación de los grupos se basó en la R^2 semiparcial mayor a 64%, y la prueba de la pseudo F y la pseudo t^2 significativas (SAS, 1995), tomando como referencia una distancia de 0.605 unidades. Dicho paquete, con base en los coeficientes de correlación, es el que mejor conjunta poblaciones de maíz usando datos agronómicos y morfológicos (Rincón *et al.*, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Componentes principales

En la Figura 1 se muestra la dispersión de las 104 poblaciones de maíz sobre el plano determinado por los dos primeros componentes principales (CP), con valores característicos de 4.0 y 3.5; ambos explicaron 68% de la variación global determinada por los 11 caracteres. El primer componente presentó una mayor asociación con número de ramas de la panícula (0.43) y días a la exposición de estigmas (0.42), es decir con el desarrollo reproductivo; el segundo, con volumen (0.52) y anchura (0.49) de grano.

Las poblaciones parecen dispersarse en dos direcciones (Figura 1). El grupo Cónico-Palomero Toluqueño-Cónico Norteño y el Chalqueño-Cónico se ubicaron en el cuadrante negativo de ambos CP (Wellhausen *et al.*, 1951; Ortega *et al.*, 1991); en una dirección se llega al cuadrante positivo de los dos CP, donde se ubicaron los maíces del tipo Cacahuacintle y Ancho (Ortega *et al.*, 1991); en la porción intermedia sobre esa dirección, se observó más poblaciones de Chalqueño de la región de Chalco con sus variantes locales, y las formas intermedias entre Chalqueño y Cónico (Wellhausen *et al.*, 1951; Ortega *et al.*, 1991; Sánchez y Goodman, 1992). En el cuadrante positivo para el CP 1, y negativo para el CP 2, se localizaron poblaciones consideradas como Chalqueños, por la forma de mazorca y grano, pero su planta es de mayor estatura y de ciclo muy largo. Estas pueden ser variantes con distribución en las sierras de mayor altitud, como el denominado Mushito de los altos de Michoacán y de Oaxaca (Wellhausen *et al.*, 1951; Hernández, 1972; Sánchez y Goodman, 1992). Con base en lo anterior, habría cinco grandes grupos entre las poblaciones, con 68% de la variación global (Figura 1).

as well as to identify the diversity pattern, the analysis of principal components was applied (SAS, 1995).

The cluster analysis with the NTSYS-pc under the UPGMA grouping (Rohlf, 1993) was used to find out to what degree the empirical recognition of subtypes of the Chalqueño race can be systematized numerically, as well as the degree of differentiation or similarity with respect to the typical Chalqueño populations. The samplings were classified into five homogeneous groups in function of the dendrogram, in which the cutting off point for the formation of the groups was based on the semipartial R^2 greater than 64%, and the significant test of the pseudo F and the pseudo t^2 (SAS, 1995), taking as reference a distance of 0.605 units. This package, based on the correlation coefficients, is the one that best groups maize populations using agronomical and morphological data (Rincón *et al.*, 1996).

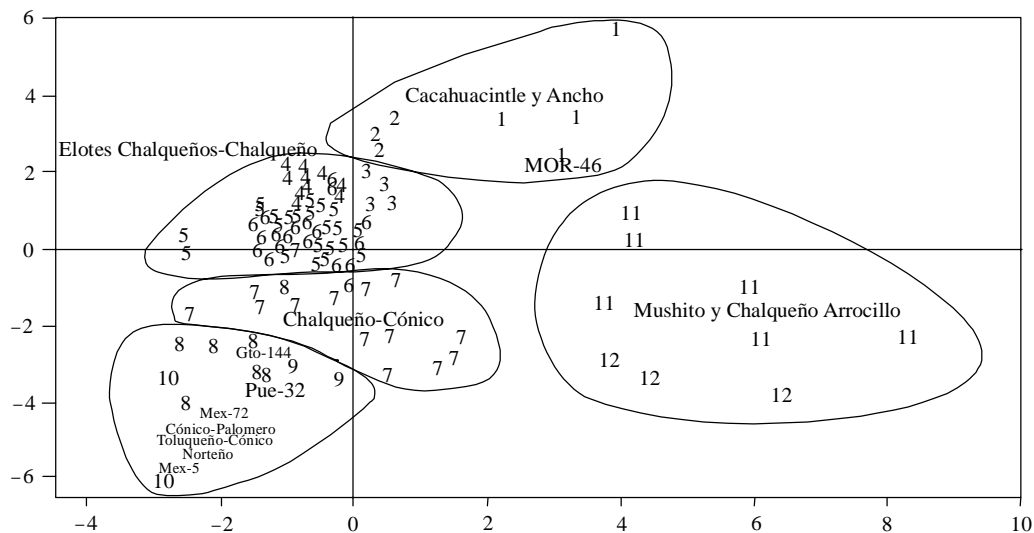
RESULTS AND DISCUSSION

Principal components

Figure 1 shows the dispersion of the 104 maize populations across the plane determined by the first two principal components (CP), with characteristic values of 4.0 and 3.5; both explained 68% of the global variation determined by the 11 characters. The first component showed a greater association with the number of branches of the panicle (0.43) and days to the exposure of stigma (0.42), that is, with reproductive development; the second, with volume (0.52) and width (0.49) of grain.

The populations seem to be dispersed in two directions (Figure 1). The Cónico-Palomero Toluqueño-Cónico Norteño group and the Chalqueño-Cónico were located in the negative quadrant of both CP (Wellhausen *et al.*, 1951; Ortega *et al.*, 1991); in one direction, the positive quadrant is reached in both CP, in which the Cacahuacintle and Ancho type maizes were located (Ortega *et al.*, 1991); in the middle portion above this direction, more Chalqueño populations of the Chalco region were observed, as well as local variants, and the intermediary forms between Chalqueño and Cónico (Wellhausen *et al.*, 1951; Ortega *et al.*, 1991; Sánchez and Goodman, 1992). Populations considered Chalqueños were located in the positive quadrant for the CP 1, and negative for the PC 2, because of the form of both ear and grain, although the plant was of greater height and of a very long cycle. These could be variants with distribution in the higher sierras, such as the so called Mushito of the highlands of Michoacán and Oaxaca (Wellhausen *et al.*, 1951; Hernández, 1972; Sánchez and Goodman, 1992). Based on the above, there would be five major groups among the populations, with 68% of the global variation (Figure 1).

Diámetro de mazorca, número de hileras, longitud, anchura y volumen de grano
CP2 (31.83%)



CP1 (36.37%) Días a floración, número de ramificaciones, altura de mazorca, % de olote y anchura/longitud de grano

Figura 1. Dispersión de 104 poblaciones de maíz de la raza Chalqueño con base en los dos primeros componentes principales del análisis para 11 variables. Poxtla 1996, Poxtla 1997, Tlapala 1997 y Tecámac 1996. Clasificación racial y ubicación de las recolecciones típicas. Abreviatura para variantes: 1=Ancho; 2=Cacahuacintle; 3=Ancho-Chalqueño; 4=Palomo; 5=Elotes Chalqueños; 6=Chalqueño; 7=Chalqueño-Cónico; 8=Cónico; 9=Cónico Norteño; 10=Palomero Toluqueño; 11=Mushito, y 12=Chalqueño-Arrocillo.

Figure 1. Dispersion of 104 maize populations of the Chalqueño race based on the first two principal components of the analysis for 11 variables. Poxtla 1996, Poxtla 1997, Tlapala 1997 and Tecámac 1996. Racial classification and location of the typical samplings. Abreviation for variants: 1= Ancho; 2= Cacahuacintle; 3= Ancho-Chalqueño; 4= Palomo; 5= Elotes Chalqueños; 6= Chalqueño; 7= Chalqueño-Cónico; 8=Cónico; 9= Cónico Norteño; 10= Palomero Toluqueño; 11= Mushito; and 12= Chalqueño-Arrocillo.

Grupo Cónico-Palomero Toluqueño-Cónico Norteño

Las variables de mayor importancia en la definición de este grupo fueron número de hileras de grano por mazorca, días a floración y altura de planta. Se ubicaron sólo las poblaciones típicas caracterizadas como referencia de los grupos Cónico, Palomero Toluqueño y Cónico Norteño (Ortega *et al.*, 1991).

Grupo Chalqueño-Cónico

Con valores promedio superiores al grupo anterior, las variables con valores más altos fueron relación de grano anchura/longitud y porcentaje de olote. En este grupo se ubicaron las poblaciones HGO-7 y MÉX 37, típicas de la raza Chalqueño (Ortega *et al.*, 1991; Sánchez y Goodman, 1992). Además, el tipo de maíz con mayor frecuencia en las recolecciones fue intermedio entre el Chalqueño y el Cónico considerados típicos (Ortega *et al.*, 1991; Sánchez y Goodman, 1992).

Grupo Elotes Chalqueños-Chalqueño

Los caracteres que más influyeron en la separación de este grupo fueron valores altos de diámetro de la mazorca y

Cónico-Palomero Toluqueño-Cónico Norteño Group

The variables of greatest importance in the definition of this group were the number of grain rows per ear, days to florescence and plant height. Only the typical populations characterized as reference of the Cónico, Palomero Toluqueño and Cónico Norteño groups were included (Ortega *et al.*, 1991).

Chalqueño-Cónico Group

With average values higher than those of the previous group, the variables with the highest values were ratio of grain width/length and percentage of cob. Included in this group were the populations HGO-7 and MÉX-37, typical of the Chalqueño race (Ortega *et al.*, 1991; Sánchez and Goodman, 1992). Furthermore, the maize type presenting highest frequency in the samplings was one between the Chalqueño and the Cónico, which are considered typical (Ortega *et al.*, 1991; Sánchez and Goodman, 1992).

Elotes Chalqueños-Chalqueño Group

The characters that influenced the most in the separation of this group were high values of ear diameter

longitud de grano. Las recolecciones correspondieron a poblaciones del oriente del Estado de México, y se componen por tres subgrupos: Chalqueño de grano cremoso, Elotes Chalqueños de grano azul, y Chalqueño de grano blanco conocido como maíz Palomo.

Grupo Cacahuacintle y Ancho

Para el agrupamiento de estas poblaciones las variables más importantes fueron los valores más altos para diámetro de mazorca, longitud de grano, anchura de grano, volumen de grano, la relación de grano anchura/longitud, grano más cuadrado y menor número de hileras por mazorca.

Grupo Mushito y Chalqueño-Arrocillo

En la separación del grupo las características distintivas fueron haber sido muy tardías, plantas altas, mazorcas de olote grueso, gran número de ramas en la panícula y longitud de grano con tendencia a ser pequeño.

Análisis de conglomerados

En la Figura 2 (dendrograma) se muestra la diversidad genética entre las poblaciones. Se identificaron dos grupos: el de la parte superior conjunta maíces recientemente recolectados en el oriente del Estado de México. El tipo racial nativo predominante fue el Chalqueño con los subtipos Elotes Chalqueños azul harinoso y Chalqueño crema dentado, y poblaciones de grano grande de la raza Cacahuacintle de las zonas agrícolas más altas del Estado de México y de la raza Ancho, introducidas desde el Estado de Morelos. El segundo grupo de la parte inferior está formado por poblaciones provenientes de áreas diferentes a la del oriente del Estado de México con grano de menor tamaño, floración intermedia (89 a 99 d). Estas recolecciones realizadas en el norte del Estado de México son consideradas como de la raza Chalqueño, formas intermedias entre Chalqueño y Cónico, principalmente del occidente del mismo Estado, en el área aledaña a Toluca; así como las formas típicas de Palomero Toluqueño y Cónico Norteño, y el grupo de materiales tardíos (124 d a floración) y de planta alta que pudieran ser formas intermedias de Chalqueño-Arrocillo de la Sierra Norte de Puebla y materiales de Mushito de las partes altas de Oaxaca y Michoacán.

La división superior tiene tres grupos: Elotes Chalqueños, Cacahuacintle y Ancho, y Chalqueño cremoso; la inferior tiene dos grupos: Cónico-Palomero Toluqueño-Cónico Norteño y Mushito-Chalqueño Arrocillo-Chalqueño-Cónico. El promedio para los cinco grupos, para los 11 caracteres, se presenta en el Cuadro 1. El análisis de conglomerados permitió separar a

and grain length. The samplings corresponded to populations of the eastern part of the State of México, and were comprised by three subgroups: cream colored Chalqueño, blue grained Elotes Chalqueños, and white grained Chalqueño, known as Palomo maize.

Cacahuacintle and Ancho Group

For the grouping of these populations, the most important variables were the highest values for ear diameter, grain length, grain width, grain volume, ratio of grain width/length, squarest grain and least number of rows per ear.

Mushito and Chalqueño-Arrocillo Group

In the separation of the group, the distinctive characteristics were extreme tardiness, tall plants, ears with a thick cob, a great number of branches in the panicle and grain length with a tendency to be small.

Cluster analysis

Figure 2 (dendrogram) shows the genetic diversity among the populations. Two groups were identified: the upper section includes maizes which have been recently collected in the eastern region of the State of México. The predominant native racial types were the Chalqueño and cream toothed Chalqueño, and large grained populations of the Cacahuacintle race from the highest agricultural zones of the State of México as well as the Ancho race, introduced from the State of Morelos. The second group of the lower portion is formed by populations from areas other than the eastern part of the State of México, with a smaller grain and intermediate florescence (89 to 99 d). These samplings taken from the northern part of the State of México are considered to be like the Chalqueño race, with forms between those of Chalqueño and Cónico, mainly from the western part of the State, in the area around Toluca; as well as the typical forms of Palomero Toluqueño and Cónico Norteño, and the group of late materials (124 d to florescence) and high plant that could be intermediate forms of Chalqueño-Arrocillo of the Sierra Norte of Puebla and Mushito materials of the highlands of Oaxaca and Michoacán.

The upper section includes three groups: Elotes Chalqueños, Cacahuacintle and Ancho, and creamy Chalqueño. The lower section includes two groups: Cónico-Palomero Toluqueño-Cónico Norteño and Mushito-Chalqueño Arrocillo-Chalqueño-Cónico. The average for the five groups, for the 11 characters, is shown in Table 1. The cluster analysis allowed to separate of the dark grained maizes (Elotes Chalqueños group) from the light grained varieties (Chalqueño Cremoso group)

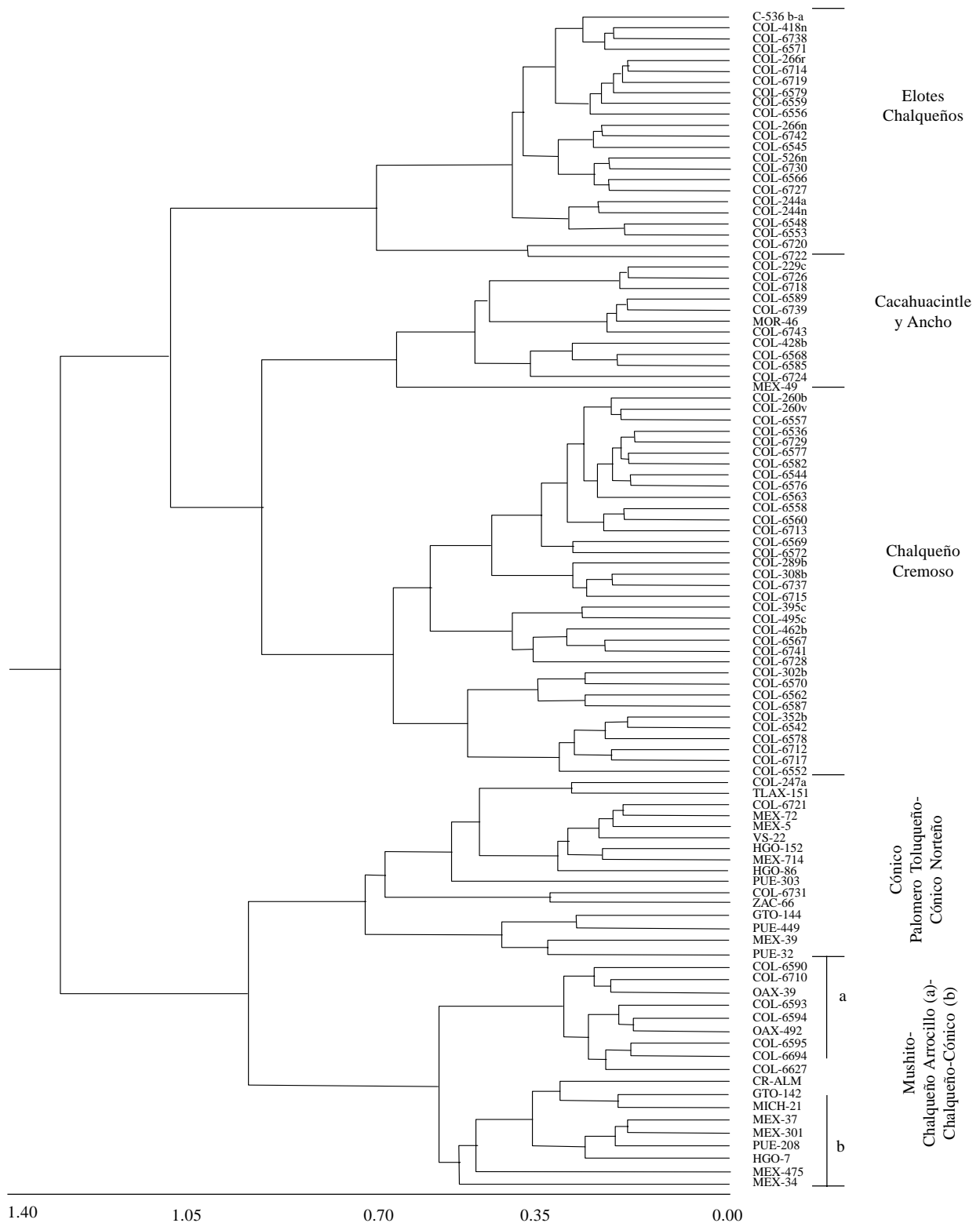


Figura 2. Dendrograma de 104 poblaciones de la raza Chalqueño más otras referencias, basado en la media de 11 variables, según el análisis de agrupamiento UPGMA de distancias de disimilitud. Ambientes: Poxtla 1996, Poxtla 1997, Tlapala 1997 y Tecámac 1996.

Figure 2. Dendrogram of 104 populations of the Chalqueño race plus other referents, based on the mean of 11 variables, according to UPGMA cluster analysis of distances of dissimilarity. Environments: Poxtla 1996, Poxtla 1997, Tlapala 1997 and Tecámac 1996.

los maíces de grano oscuro (grupo Elotes Chalqueños) de los de grano claro (grupo Chalqueño Cremoso) (Figura 2), del grupo Elotes Chalqueños-Chalqueño del análisis de Componentes Principales (Figura 1).

En la descripción de las razas de maíz de México desde Wellhausen *et al.* (1951) hasta Sánchez *et al.* (2000a) se menciona a Elotes Cónicos como subraza de Cónico, además de otros grupos de maíces de color azul u oscuro. El Chalqueño fue descrito como de grano cremoso dentado. Entre las poblaciones conservadas en los bancos de germoplasma, recolectadas en el oriente del Estado de México, aparecen algunas de grano oscuro identificadas como Elotes Cónicos, pero han recibido poca atención. En la recolección de 1996-1997 se presentó esta variación, pero se notó que la morfología de las mazorcas y grano era similar a Chalqueño, por lo que podrían corresponder a éste como un complejo de variantes. Por estar en el dendrograma del grupo Elotes Chalqueños como materiales del oriente del Estado de México, se refuerza el planteamiento, y al formar uno de los cinco grupos a menor distancia, éste se confirma. Por tanto, se le denominó Elotes Chalqueños.

El Grupo Elotes Chalqueño está conformado en su totalidad por maíces Chalqueños de grano oscuro (Cuadro 1). Presenta en promedio tres características que lo distinguen de los otros grupos raciales: grano azul, aunque hay algunas poblaciones de grano rojo (4.8), grano largo (16.6 mm) y mazorcas de mayor diámetro (5.1 cm); además presenta endospermo harinoso (datos no presentados). Se recolectó en el distrito de Chalco, en los municipios de Amecameca, Atlautla, Ayapango, Chalco, Cocotitlán, Ecatingo, Juchitepec, y en Milpa Alta en el Distrito Federal (D. F.), a una altitud de 2180 a 2800 m.

El grupo Cacahuacintle y Ancho está formado por las poblaciones que se ubicaron en el análisis de componentes principales en el grupo del mismo nombre, más cuatro recolecciones de formas intermedias entre Ancho-Chalqueño. El grupo está bien definido, ya que la mayoría de las recolecciones pertenece a las formas raciales Cacahuacintle y Ancho, y destacan por su grano grande de color blanco y la mayor anchura de grano, volumen de grano y por su relación de grano anchura/longitud tendiente a una forma cuadrada. El área de distribución de las poblaciones de la raza Cacahuacintle fue Ayapango, Chalco y Amecameca, a una altura de 2400 a 2700 m; las de la raza Ancho, incluida la típica MOR-46 (Ortega *et al.*, 1991), se recolectaron en la región de Atlautla y Tepetlixpa, a una altura de 2000 m. La ubicación geográfica de Ancho-Chalqueño está entre las regiones de siembra de las dos razas anteriores: Tepetlixpa, Atlautla y Juchitepec, de 2330 a los 2450 m.

El área de distribución del Cacahuacintle corresponde principalmente al occidente del Estado de México, parte alta al sur de Toluca (Wellhausen *et al.*, 1951); aunque

(Figura 2), from the Elotes Chalqueños-Chalqueño group of the Principal Components analysis (Figure 1).

In the description of the Mexican maize races, from Wellhausen *et al.* (1951) to Sánchez *et al.* (2000a), Elotes Cónicos are referred to as a sub-race of Cónico, in addition to other blue or dark colored maize groups. The Chalqueño group was described as having a creamy toothed grain. Among the populations conserved in the germ plasm banks, taken from the eastern region of the State of México, some dark grained varieties appear, identified as Elotes Cónicos, but these have received little attention. In the 1996-1997 sampling, this variation appeared, but it was noted that the morphology of the ears and grain was similar to that of Chalqueño. Therefore, these may correspond to a complex of variations. Because it appears in the dendrogram of the Elotes Chalqueños group as material from the eastern part of the State of México, the above mentioned possibility is reinforced, and as it forms one of the five groups at the shortest distance, this idea is confirmed. Therefore, it was denominated Elotes Chalqueños.

The Elotes Chalqueños group is made up entirely of dark grained Chalqueño maizes (Table 1). It presents on the average three characteristics which distinguish it from other racial groups: blue grain, although there are some red grained populations (4.8), long grain (16.6 mm) and greater diameter of the ear (5.1 cm); in addition, it presents a floury endosperm (data not shown). It was collected from the Chalco district, in the municipalities of Amecameca, Atlautla, Ayapango, Chalco, Cocotitlán, Ecatingo, Juchitepec, and Milpa Alta in the Federal District (D. F.), at an altitude of 2180 to 2800 m.

The Cacahuacintle and Ancho group is comprised of the populations which were found in the principal components analysis in the group of the same name, as well as four samplings of intermediary forms between Ancho-Chalqueño. The group is well defined, as the majority of the samplings belong to the racial forms of Cacahuacintle and Ancho, and stand out because of the large white grain and greater grain width, volume, and the ratio of grain width/length, tending towards a square shape. The distribution area of the populations of the Cacahuacintle race included Ayapango, Chalco and Amecameca, at an altitude of 2400 to 2700 m. The samplings of the Ancho race, including the typical MOR-46 (Ortega *et al.*, 1991), were collected from the region of Atlautla and Tepetlixpa, at an altitude of 2000m. The geographical location of Ancho-Chalqueño is among the cultivation regions of the two previous races: Tepetlixpa, Atlautla and Juchitepec, from 2330 to 2450 m.

The distribution area of Cacahuacintle corresponds mainly to the western part of the State of México, the highlands to the south of Toluca (Wellhausen *et al.*, 1951); although it has also been found in the eastern part of the

Cuadro 1. Promedios para 11 caracteres de cinco grupos y cuatro subgrupos identificados en 104 poblaciones de maíz, con base en los dos primeros componentes principales. Localidades: Poxtla 1996 y Poxtla 1997, Tlapala 1997 y Tecámac 1996.
Table 1. Averages for 11 characters of five groups and four subgroups identified in 104 maize populations, based on the first two principal components. Locations: Poxtla 1996 and Poxtla 1997, Tlapala 1997 and Tecámac 1996.

Grupo	Subgrupo	Altura de mazorca (cm)	Floración femenina (días)	Olote (%)	Ramas de la panícula (número)	Hileras de la mazorca (número)	Diámetro de mazorca (cm)	Anchura del grano (mm)	Longitud del grano (mm)	Volumen del grano (cm ³)	Grano, anchura /longitud	Color de grano †
1	Elotes Chalqueños	180	103	11.0	7	15.2	5.1	8.7	16.6	700	0.53	4.8
2	Cacahuacintle y Ancho	164	104	11.7	11	12.1	4.8	10.5	16.0	930	0.72	1.7
3	Chalqueño Cremoso	178	103	10.2	8	14.8	5.1	8.7	17.0	730	0.52	1.8
4	Cónico-Palomero											
	Toluqueño-Cónico Norteño	130	89	9.5	5	16.1	4.1	7.4	14.1	400	0.49	2.3
5	Mushito-Chalqueño											
	Arrocillo-Chalqueño-Cónico	183	114	16.8	11	14.8	4.4	7.9	13.2	470	0.61	2.4
	5a Mushito-Chalqueño Arrocillo	223	124	19.0	13	14.3	4.2	8.2	12.5	460	0.65	2.5
	5b Chalqueño-Cónico	144	99	14.5	8	15.5	4.5	7.7	14.5	500	0.53	2.2

† 1=blanco; 2=crema; 3=amarillo; 3.5=pinto; 4=rojo; 5=azul; 6=negro ♦ 1: white; 2=cream; 3=yellow; 3.5=mottled; 4=red; 5=blue; 6=black.

también se encontró en el área oriental del mismo Estado. Algunos agricultores consideran al Cacahuacintle como de origen ancestral (semilla mantenida por sus padres y abuelos), mientras otros consiguen semilla fuera del área cada dos o cuatro años.

El maíz Ancho, en los Estados de Morelos y Guerrero, se encuentra a altitudes intermedias (1400 a 1700 m). En el presente estudio se observaron algunas poblaciones con mazorca y grano semejante a la raza Ancho a una altitud superior a 2000 m, las que posiblemente corresponden a traslados de poblaciones de esta raza realizados por agricultores en los últimos 10 años; es decir, parecen versiones del maíz Ancho adaptadas, o en vías de adaptación al Altiplano. El traslado se hace porque el maíz Ancho se usa para preparar pozole (al igual que el Cacahuacintle) y su precio en los mercados tradicionales es más alto que el de Chalqueño. Entre la variación del maíz Chalqueño en el oriente del Estado de México existen algunas poblaciones, en los municipios de Atlautla, Tepetlixpa, Juchitepec y Amecameca, que presentan granos con aparente influencia del maíz Ancho en su forma (más anchos), los que se agruparon junto con los Anchos bien definidos.

El grupo Chalqueño cremoso reúne las mismas poblaciones color crema ubicadas en el análisis de componentes principales en el grupo Chalqueño. La diferencia entre Chalqueño cremoso y Elotes Chalqueños radica principalmente en el color de grano y consistencia del endospermo; Chalqueño es de grano crema dentado, y Elotes Chalqueños es de grano azul harinoso y ocasionalmente rojo. Se cultiva prácticamente en todos los municipios de Chalco (Amecameca, Atlautla, Ayapango, Chalco, Cocotitlán, Ecatzingo, Iztapaluca, Juchitepec y Tepetlixpa) y en regiones aledañas, como la delegación de Milpa Alta del D.F., de 2180 a 2800 m.

Los grupos Cónico, Palomero Toluqueño y Cónico Norteño, Mushito, Chalqueño-Arrocillo y Chalqueño-Cónico corresponden a poblaciones de origen distinto a la región de estudio (Figura 2). Se incluyeron en la prueba para tratar de ubicar la diversidad del maíz en el oriente del Estado de México en el contexto de la diversidad del maíz en el Altiplano Central del país, tomando como referencia al complejo conocido como Piramidal, y algunas de las poblaciones típicas de las razas Palomero Toluqueño, Cónico Norteño, Cónico y Chalqueño. Este último es la raza preponderante en el área, y se incluyeron poblaciones provenientes de otras partes del Altiplano correspondientes al área de distribución de la raza Chalqueño (Wellhausen *et al.*, 1951).

El grupo Cónico, Palomero Toluqueño y Cónico Norteño está integrado por poblaciones de grano crema, con mayor precocidad promedio y con el valor más bajo para altura de mazorca, porcentaje de olote, número de ramas de la panícula, diámetro de la mazorca, y anchura

State. Some farmers consider the Cacahuacintle to be of ancestral origin (seed maintained by parents and grandparents), whereas others obtain seed from outside of the aforementioned area every 2 to 4 years.

The Ancho maize, in the States of Morelos and Guerrero, is found at intermediate altitudes (1400 to 1700 m). In the present study, some populations with ear and grain similar to those of the Ancho race were observed at an altitude above 2000 m, which may correspond to the transference of populations of this race by farmers in the last 10 years. That is, they seem to be adapted versions of Ancho maize, or in process of adaptation to the High Plateau. The transference is made because the Ancho maize is used for cooking pozole (as it is Cacahuacintle), and its price in traditional markets is higher than that of Chalqueño. Among the variations of Chalqueño maize in the eastern part of the State of México, there are some populations, in the municipalities of Atlautla, Tepetlixpa, Juchitepec and Amecameca, which present grains that have an apparent influence of Ancho maize in shape (wider), which were grouped together with the well defined Ancho.

The creamy Chalqueño group includes the same cream colored populations found in the principal components analysis in the Chalqueño group. The difference between creamy Chalqueño and Elotes Chalqueños lies mainly in the color of the grain and the consistency of the endosperm; Chalqueño has a toothed, cream colored grain, and Elotes Chalqueños has a blue, floury grain, and occasionally red. It is cultivated in almost all of the municipalities of Chalco (Amecameca, Atlautla, Ayapango, Chalco, Cocotitlán, Ecatzingo, Iztapaluca, Juchitepec and Tepetlixpa) and in surrounding regions, such as the Milpa Alta section of the D.F., from 2180 to 2800 m.

The groups Cónico, Palomero Toluqueño and Cónico Norteño, Mushito, Chalqueño-Arrocillo and Chalqueño-Cónico correspond to populations of an origin other than that of the region of study (Figure 2). They were included in this study in order to locate the diversity of the maize in the eastern part of the State of México in the context of maize diversity in the Central High Plateau, taking as reference the complex known as Pyramidal, and some of the populations typical of the races Palomero Toluqueño, Cónico Norteño, Cónico and Chalqueño. The Chalqueño is the dominant race of the area, and includes populations originating from other parts of the High Plateau which correspond to the distribution area of the Chalqueño race (Wellhausen *et al.*, 1951).

The group Cónico, Palomero Toluqueño and Cónico Norteño is comprised of creamy grained populations, with greater average precocity and with the lowest value for ear height, percentage of cob, number of branches in the panicle, ear diameter, and width and volume of grain.

y volumen de grano. Este grupo incluye las mismas recolecciones que el grupo Cónico, Palomero Toluqueño y Cónico Norteño definido en el análisis de componentes principales, más algunas recolecciones identificadas de la raza Cónico agrupadas en el grupo Chalqueño-Cónico y Chalqueño (Figura 1). Este grupo está presente en los Estados de Zacatecas, Guanajuato, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y México. En el Estado de México, Palomero Toluqueño se localizó en los alrededores de Chalco y Toluca, y Cónico en los municipios de Ayapango, Chalco, Huehuetoca, Ecatzingo y Toluca. El grupo se localizó a una altitud de 1900 a 2640 m, y en él se ubicaron las poblaciones incluidas como referencias de las razas de ciclo precoz y tamaño de mazorca y planta pequeña, como Palomero Toluqueño (MÉX-5), Cónico (MÉX-72, PUE-32) y Cónico Norteño (GTO-144). El resto corresponde a una población recolectada en el municipio de Chalco (COL-6721), que pudiera clasificarse como de tipo Palomero Toluqueño. Esta es la única población de este tipo encontrada en el oriente del Estado de México; el agricultor donante lo describió como criollo local para siembras de junio.

El resto de las poblaciones en este grupo fueron un tanto precoces, aunque no tanto como Cónico o Palomero Toluqueño, originarias de otras partes de los Estados de México, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y Zacatecas. Varias de estas poblaciones pudieran pertenecer al continuo de la diversidad entre Chalqueño (tardío y grande) a Cónico (precoz y pequeño), que Anderson (1946) denomina complejo Piramidal, con cierta proximidad al extremo del Cónico (Cervantes y Mejía, 1984; Ramos y Hernández, 1972).

El grupo Mushito, Chalqueño-Arrocillo y Chalqueño-Cónico se puede dividir en dos subgrupos; de acuerdo con una R^2 semiparcial $>71\%$, una seudo F y una seudo t^2 significativas (SAS, 1995), y tomando como referencia una distancia de 0.547 unidades. El subgrupo Mushito y Chalqueño-Arrocillo es de plantas tardías, anteriormente descrito en el análisis de componentes principales. El grano del grupo Mushito fue blanco, morado y pinto, y se cultiva en Michoacán (Pátzcuaro) y Oaxaca (Suchixtepec, Nochixtlán, Yanhuítlán y Santiago Tillo), de 2077 a 2400 m. El grano del Chalqueño-Arrocillo fue blanco, crema y amarillo, y se siembra en la Sierra Norte de Puebla (Teziutlán, Xochiapulco y Jalacingo), a una altura promedio de 1900 m (Wellhausen *et al.*, 1951).

El subgrupo Chalqueño-Cónico incluyó muestras de grano blanco y crema, con valores promedio superiores al grupo Cónico, Palomero Toluqueño y Cónico Norteño para floración femenina, altura de mazorca, porcentaje de olote, número de ramas de la panícula, diámetro de la mazorca, y anchura y volumen de grano. En él se ubicaron las poblaciones típicas de Chalqueño (HGO-7 y MÉX-37) que tradicionalmente han representado parte de la diversidad de esta raza (Wellhausen *et al.*, 1951;

This group includes the same samplings as the Cónico, Palomero Toluqueño and Cónico Norteño group defined in the principal components analysis, as well as some identified samplings of the Cónico race included in the Chalqueño-Cónico and Chalqueño group (Figure 1). This group is found in the States of Zacatecas, Guanajuato, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala and México. In the State of México, Palomero Toluqueño was located in the vicinity of Chalco and Toluca, and Cónico was found in the municipalities of Ayapango, Chalco, Huehuetoca, Ecatzingo and Toluca. The group was located at an altitude of 1900 to 2640 m, included the populations recognized as references for the races with precocious cycle and small ear and plant, such as Palomero Toluqueño (MÉX-5), Cónico (MÉX-72, PUE-32) and Cónico Norteño (GTO-144). The rest correspond to a population collected in the municipality of Chalco (COL-6721), which could be classified as Palomero Toluqueño type. This is the only population of this type found in the eastern part of the State of México; the farmer who donated the sample described it as local criollo for June planting.

The rest of the populations in this group were somewhat precocious, although not as much as Cónico or Palomero Toluqueño, originating from other parts of the States of México, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala and Zacatecas. Several of these populations could belong to the continuum of diversity between Chalqueño (late and large) and Cónico (precocious and small), which Anderson (1946) denominates Pyramidal complex, with a certain proximity to the extreme of the Cónico (Cervantes and Mejía, 1984; Ramos and Hernández, 1972).

The group Mushito, Chalqueño-Arrocillo and Chalqueño can be divided into two subgroups; according to a semipartial $R^2 > 71\%$, a pseudo F and a significant pseudo t^2 (SAS, 1995), and taking a distance of 0.547 units as reference. The subgroup Mushito and Chalqueño-Arrocillo is of late plants, previously described in the principal components analysis. The grain of the Mushito group was white, purple and mottled, and is cultivated in Michoacán (Pátzcuaro) and Oaxaca (Suchixtepec, Nochixtlán, Yanhuítlán and Santiago Tillo), from 2077 to 2400 m. The Chalqueño-Arrocillo grain was white, cream colored and yellow, and is sown in the Sierra Norte of Puebla (Teziutlán, Xochiapulco and Jalacingo), at an average altitude of 1900 m (Wellhausen *et al.*, 1951).

The subgroup Chalqueño-Cónico included samples of white and cream colored grain, with average values higher than those of the group Cónico, Palomero Toluqueño and Cónico Norteño for female florescence, ear height, percentage of cob, number of branches of the panicle, ear diameter, and width and volume of grain. Included in this subgroup were the populations typical

Ortega *et al.*, 1991) y las sobresalientes que identifican a este conjunto MICH-21 y GTO-142 (INIFAP, 1996). Las poblaciones agrupadas son de Michoacán, Guanajuato, Hidalgo, México y Puebla. En el Estado de México las recolecciones son de las regiones de Almoloya, Tepetzotlán, Texcoco y Chalco, a alturas de 1986 a 2520 m.

El subgrupo Chalqueño-Cónico está formado por poblaciones que se asemejan al extremo tardío de Chalqueño. Las poblaciones típicas de la raza Chalqueño, en estudios anteriores, se agrupan de manera separada a las poblaciones del oriente del Estado de México (Chalco-Amecameca-Juchitepec). Comparando los subgrupos Chalqueño-Cónico y Chalqueño crema del oriente del Estado de México, éste es ligeramente más tardío, de mayor porte, y la mazorca y grano son ligeramente más grandes. Las de poblaciones del oriente del Estado de México no se incluyen en el grupo de colectas típicas de la raza Chalqueño, lo cual pudiera explicarse porque la mayor parte de las observaciones anteriores se han hecho en el área de Chapingo, donde los maíces provenientes del oriente del Estado de México no expresan su potencial por efectos del ambiente (datos no presentados).

Este estudio se condujo, en parte, en las condiciones del oriente del Estado de México, por lo cual los materiales locales manifestaron su expresión normal. La gráfica de componentes principales de la Figura 1 confirma la continuidad de la diversidad de Palomero Toluqueño a Chalqueño o, de manera más amplia, en el complejo Piramidal del Altiplano Mexicano. Las poblaciones del oriente del Estado de México son el extremo tardío con planta, mazorca y grano de mayores dimensiones. Las poblaciones del área de Texcoco, Estado de México, Hidalgo, y otras consideradas también como de la raza Chalqueño, presentan un continuo hacia la precocidad y un menor tamaño de estructuras.

De acuerdo con lo anterior y con el concepto de raza (Anderson y Cutler, 1942), la variación en la raza Chalqueño presenta traslapes entre las características de la raza Chalqueño y las incluidas dentro del grupo Cónico. Dicho grupo presenta una estructura básica que equivale a la raza Piramidal Mexicana definida por Anderson y Cutler (1942) y está compuesta por Palomero Toluqueño, Cónico, Cónico Norteño, Arrocillo Amarillo, Chalqueño, Pepitilla y Cacahuacintle, junto con Elotes Cónicos (Wellhausen *et al.*, 1951), con cierta relación con Tarasco y Bolita (Ortega y Sánchez, 1989), Maíz Ancho (Bretting y Goodman, 1989), Mushito, Maíz Dulce de Jalisco y Serrano de Jalisco (Sánchez y Goodman, 1992), razas caracterizadas por su forma cónica de mazorca y encontradas principalmente en Valles Altos de México.

Con base en la Figura 1, las poblaciones de Oaxaca y Michoacán (del tipo Mushito) y de la Sierra Norte de Puebla (Chalqueño-Arocillo), posiblemente presentan

of Chalqueño (HGO-7 and MÉX-37) which have traditionally represented part of the diversity of this race (Wellhausen *et al.*, 1951; Ortega *et al.*, 1991) and the outstanding populations which identify this group, MICH-21 and GTO-142 (INIFAP, 1996). The grouped populations are from Michoacán, Guanajuato, Hidalgo, México and Puebla. In the State of México, the samplings are from the regions of Almoloya, Tepetzotlán, Texcoco and Chalco, at altitudes between 1986 to 2520 m.

The subgroup Chalqueño-Cónico is comprised of populations which resemble the late extreme of Chalqueño. The populations typical of the Chalqueño race, in previous studies, are grouped separately from the populations from the eastern region of the State of México (Chalco-Amecameca-Juchitepec). Comparing the subgroups Chalqueño-Cónico and cream Chalqueño from the eastern part of the State of México, the latter is slightly later, of a larger plant size, and the ear and grain are slightly larger. The fact that the populations of the eastern region of the State of México are not included in the group of samplings typical of the Chalqueño race, may be explained because the majority of the previous observations have been made in the Chapingo area, where the maizes from the eastern part of the State of México do not express their potential due to environmental effects (data not shown).

This study was carried out, in part, under the conditions of the eastern region of the State of México; thus, the local materials showed their normal expression. The graph of principal components of Figure 1 confirms the continuity of the diversity of Palomero Toluqueño to Chalqueño, or in a wider sense, in the Pyramidal complex of the Mexican High Plateau. The populations of the eastern region of the State of México are the late extreme, with larger plant, ear and grain. The populations from the Texcoco area, State of México, Hidalgo, and other populations which are also considered to belong to the Chalqueño race, present a continuum towards precocity and a smaller size of structures.

Based on the above and on the concept of race (Anderson and Cutler, 1942), the variation in the Chalqueño race presents overlapping between the characteristics of the Chalqueño race, and those included within the Cónico group. The latter group presents a basic structure equivalent to the Mexican Pyramidal race defined by Anderson and Cutler (1942) and is comprised of Palomero Toluqueño, Cónico, Cónico Norteño, Arrocillo Amarillo, Chalqueño, Pepitilla and Cacahuacintle, along with Elotes Cónicos (Wellhausen *et al.*, 1951), with a certain relationship to Tarasco and Bolita (Ortega and Sánchez, 1989), Maíz Ancho (Bretting and Goodman, 1989), Mushito, Maíz Dulce from Jalisco and Serrano from Jalisco (Sánchez and Goodman, 1992), races which are characterized by the cone shaped ear, found mainly in the High Valleys of México.

influencia de otro tipo de germoplasma, como el tropical de la Sierra Norte de Puebla del Arrocillo o Tuxpeño. Esto determina diferencias fuertes en caracteres vegetativos, como el mayor número de días a floración y mayor altura de mazorca. El comportamiento de los materiales de la parte alta de Oaxaca y Michoacán es semejante, pero en este caso la influencia genética se esperaría de los materiales del Pacífico, reconocido como un grupo taxonómico separado (Sánchez y Goodman, 1992; Ortega *et al.*, 1991).

Una raza, como entidad biológica, en ocasiones se presenta en forma discreta. Sin embargo la raza Chalqueño, a pesar de tener cierta morfología distintiva, distribución geográfica, adaptación ecológica y cierto grado de hibridación entre sus miembros, no es fácil de distinguir como tal. Esto se acentúa porque este maíz se ha trasladado y cultivado en áreas lejanas de su posible centro de distribución. En dichas regiones, similares a su lugar de origen, como los Valles Altos del Estado de México, Tlaxcala, Puebla, Michoacán e Hidalgo y lugares específicos de Querétaro, Guanajuato, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí y Oaxaca (Wellhausen *et al.*, 1951), Chalqueño ha mostrado diferentes grados de variación. Las causas de esa variación son adaptaciones a la heterogeneidad ambiental, aislamiento geográfico, recombinaciones entre razas aledañas, y selección de los agricultores para rendimiento o para usos culinarios específicos.

Por tanto, la Raza Chalqueño puede subdividirse en Chalqueño cremoso, Elotes Chalqueños y Chalqueño; los dos primeros grupos están en la región de Chalco-Amecameca-Juchitepec, y el tercero en regiones aledañas a la anterior en el Estado de México, y en los Estados de Guanajuato, Michoacán, Hidalgo, Puebla y Tlaxcala (Wellhausen *et al.*, 1951). Los tipos identificados presentan una estabilidad genética que tiende a ser constante, como consecuencia de la selección por los agricultores debido a su preferencia para ciertos usos culinarios. Las formas en que los grupos étnicos usan el maíz tienen relación directa con la selección bajo domesticación (Hernández, 1972).

La diversidad observada fue compleja. Se reconocía que la raza Chalqueño predominaba, pero no estaba clara la existencia de variantes de Chalqueño y la existencia, aunque con baja frecuencia, de otras razas de maíz como Cacahuacintle y Ancho. Esa diversidad es dinámica; el maíz Ancho se está introduciendo al área, proveniente de altitudes intermedias de Morelos, y el maíz amarillo de Chalqueño prácticamente no existe porque en el mercado su precio se redujo. El cultivo de maíz azul parece también aumentar porque tiene sobreprecio. Aparentemente no han desaparecido algunos tipos, pero hay erosión genética y también enriquecimiento por introducciones (Ancho) o renovaciones de semilla (Cacahuacintle).

Based on Figure 1, the populations of Oaxaca and Michoacán (of the Mushito type) and of the Sierra Norte of Puebla (Chalqueño-Arrocillo), possibly present the influence of another type of germ plasm, such as the tropical type of the Arrocillo or Tuxpeño of the Sierra Norte of Puebla. This determines strong differences in vegetative characters, such as the number of days to florescence and greater ear height. The response of the materials from the highlands of Oaxaca and Michoacán is similar, but in this case the genetic influence would be expected from the materials of the Pacific, recognized as a separate taxonomic group (Sánchez and Goodman, 1992; Ortega *et al.*, 1991).

A race, as a biological entity, is occasionally presented in a discreet manner. However, the Chalqueño race, in spite of having a certain distinct morphology, geographical distribution, ecological adaptation and a certain degree of hybridation among its members, is not easy to distinguish as such. Even more so because this maize has been transported and cultivated in areas far from its possible center of distribution. In these regions, similar to the place of origin, such as the High Valleys of the State of México, Tlaxcala, Puebla, Michoacán and Hidalgo, as well as specific locations of Querétaro, Guanajuato, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí and Oaxaca (Wellhausen *et al.*, 1951), Chalqueño has shown different degrees of variation. The causes of this variation are adaptations to the environmental heterogeneity, geographical isolation, recombinations among nearby races, and selection by farmers for yield or for specific culinary uses.

Therefore, the Chalqueño race can be subdivided into creamy Chalqueño, Elotes Chalqueños and Chalqueño; the first two groups are found in the Chalco-Amecameca-Juchitepec region, and the third in surrounding regions in the State of México, and in the States of Guanajuato, Michoacán, Hidalgo, Puebla and Tlaxcala (Wellhausen *et al.*, 1951). The types identified present a genetic stability which tends to be constant, as a result of the selection by farmers based on preference for certain culinary uses. The forms in which the ethnic groups use the maize are directly related to the selection under domestication (Hernández, 1972).

The diversity observed was complex. It was recognized that the Chalqueño race predominated, but the existence of variants of Chalqueño was not clear, nor was the existence of other races of maize such as Cacahuacintle and Ancho. This diversity is dynamic; the Ancho maize is being introduced into the area from intermediate altitudes of Morelos, and the yellow Chalqueño maize is practically non-existent because its market price was reduced. The cultivation of blue maize also seems to be on the rise because it is overpriced. Apparently, some types have not disappeared, but there

CONCLUSIONES

Las poblaciones recolectadas en el oriente del Estado de México mostraron una amplia diversidad genética y se distribuyeron en cinco grandes grupos con base en su caracterización morfológica: Elotes Chalqueños, Cacahuacintle-Ancho, Chalqueño Cremoso, Cónico-Palomero Toluqueño-Cónico Norteño, y Mushito-Chalqueño Arrocillo-Chalqueño-Cónico.

Las relaciones de similitud entre colecciones de la raza Chalqueño y otras en áreas geográficas circundantes, indican que las poblaciones presentan traslapes entre los grupos taxonómicos de Palomero Toluqueño, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño-Cónico, Chalqueño cremoso, Elotes Chalqueños, Chalqueño-Ancho, Cacahuacintle y Ancho, dentro del complejo de mazorca piramidal.

En el oriente del Estado de México predomina el Chalqueño, con una diversidad donde la variante de grano cremoso abunda, semejante pero diferenciable por taxonomía numérica al grupo Elotes Chalqueños de grano azul-negro y endospermo harinoso, principalmente. El Chalqueño de grano amarillo se presentó con muy baja frecuencia.

La diversidad genética del maíz en la agricultura tradicional del oriente del Estado de México es dinámica. Predomina el Chalqueño típico de grano dentado y cremoso, junto con las variantes Elotes Chalqueños (azules) y el Palomo (blanco semi-harinoso), con cierta frecuencia de intercambio de semilla entre agricultores, mientras que la mayoría selecciona su semilla año con año. El Chalqueño de grano amarillo se cultiva cada vez menos, y el del maíz Ancho tiende a incrementarse en esa región por introducciones desde altitudes intermedias. La semilla del maíz Cacahuacintle en algunos casos es introducida de fuera del área.

LITERATURA CITADA

- Anderson, E. 1946. Maize in Mexico. A preliminary survey. *Ann. Mo. Bot. Gard.* 33: 147-247.
- Anderson, E., and H. C. Cutler. 1942. Races of *Zea Mays*: I. Their recognition and classification. *Ann. Mo. Bot. Gard.* 29: 69-89.
- Benz, B. F. 1997. Diversidad y distribución prehispánica del maíz mexicano. *Arqueología Mexicana.* 25: 16-23.
- Bommer, D. F. R. 1991. The historical development of international collaboration in plant genetic resources. *In: Searching for New Concepts for Collaborative Genetic Resources Management.* van Hintun Th. J. L., L. Frese, and P. M. Perrer (eds). Papers of the EUCARPIA/IBPGR Symposium. International Board for Plant Genetic Resources. Roma, Italia. pp: 3-12.
- Bretting, P. K., and M.M. Goodman. 1989. Karyotypic variation in Mesoamerican races of maize and its systematic significance. *Econ. Bot.* 43: 107-124.
- Cervantes S., T., y H. Mejía A. 1984. Maíces nativos del área del Plan Puebla: recolección de plasma germinal y evaluación del grupo tardío. *Revista Chapingo* 43-44: 64-71.

is genetic erosion as well as enrichment due to introduction (Ancho) or renewal of seed (Cacahuacintle).

CONCLUSIONS

The populations collected in the eastern region of the State of México showed wide genetic diversity and were distributed among five large groups based on their morphological characterization: Elotes Chalqueños, Cacahuacintle-Ancho, Chalqueño Cremoso, Cónico-Palomero Toluqueño-Cónico Norteño, and Mushito-Chalqueño Arrocillo-Chalqueño-Cónico.

The relations of similarity among samplings of the Chalqueño race and others in surrounding geographical areas indicate that the populations present overlapping among the taxonomic groups of Palomero Toluqueño, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño-Cónico, creamy Chalqueño, Elotes Chalqueños, Chalqueño-Ancho, Cacahuacintle and Ancho, within the pyramidal ear complex.

In the eastern region of the State of México, the Chalqueño predominates, with diversity where the variant of creamy grain is abundant, similar to but distinguishable by numerical taxonomy, mainly from the group Elotes Chalqueños with blue-black grain and floury endosperm. The yellow grained Chalqueño appeared with very low frequency.

The genetic diversity of maize in traditional agriculture of the eastern region of the State of México is dynamic. The typical cream colored, tooth grained Chalqueño predominates, along with the variants Elotes Chalqueños (blue) and Palomero (white semi-floury), with a certain frequency of seed exchange among farmers, while the majority of farmers select their seed each year. The yellow grained Chalqueño is cultivated with decreasing frequency, and the Ancho maize tends to increase in the region through introductions from intermediate altitudes. In some cases, the seed of Cacahuacintle maize is introduced from outside the area.

—End of the English version—



- Crossa, J., S. Taba, S. A. Eberhart, P. Bretting, and R. Vencovsky. 1994. Practical considerations for maintaining germplasm in maize. *Theor. Appl. Genet.* 89: 89-95.
- Dobzhansky, T. 1982. *Genetics and the Origin of Species.* Columbia University Press. Series: The Columbia Classics in Evolution. New York. 364 p.
- Franco, J., J. Crossa, J. Díaz, S. Taba, J. Villaseñor, and S. A. Eberhart. 1997. A sequential clustering strategy for classifying gene bank accessions. *Crop Sci.* 37: 1656-1662.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificaciones Climáticas de Köppen. 4ta. Ed. UNAM. Méx. D.F. 217 p.
- Goodman, M. M. and W. L. Brown. 1988. Races of corn. *In: Corn and Corn Improvement.* Sprague G. F. and J. W. Dudley (eds.). 3rd

- edition. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. pp: 33-79.
- Goodman, M. M. and E. Paterniani. 1969. The races of maize. III. Choices of appropriate characters for racial classification. *Econ. Bot.* 23: 265-273.
- Hernández X., E. 1972. Exploración etnobotánica en maíz. *Fitotecnia Latinoamericana* 8: 46-51.
- Herrera C., B.E., F. Castillo G., J. J. Sánchez G., R. Ortega P., y M. Goodman M. 2000. Caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz en una región: caso la raza Chalqueño. *Revista Fitotecnia Mexicana* 23: 335-354.
- INIFAP. 1996. Híbridos y variedades de maíz liberados por el INIFAP (Instituto de Investigaciones Agrícolas Pecuarias y Forestales) hasta 1996. Gámez V. A. J., M. A. Avila P., H. Angeles A., C. Díaz H., H. Ramírez V., A. Alejo J., y A. Terrón I. (eds). *Publicación Especial 16. S.A.G.A.R., I.N.I.F.A.P. Toluca, Méx.* 103 p.
- Louette, D., and M. Smale. 1996. Genetic Diversity and Maize Seed Management in a Traditional Mexican Community: Implications for *In Situ* Conservation of Maize. *NRG papers 96-03. México. D.F. CIMMYT.* 21 p.
- Ortega P., R. A., y J.J. Sánchez G. 1989. Aportaciones al estudio de la diversidad de maíz en las partes altas de México. *Fitotecnia Mexicana* 12:105-119.
- Ortega P., R. A., J. J. Sánchez G., F. Castillo G., y J. M. Hernández C. 1991. Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México. *In: Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México.* Ortega P. R., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H. y M. Livera M. (eds). *Sociedad Mexicana de Fitogenética (SOMEFI). México.* pp: 161-185.
- Ramos R., A., y E. Hernández X. 1972. Variación morfológica de los maíces de la zona oriental del estado de México y del centro de Puebla, México. I Congreso Latinoamericano de Botánica, Resúmenes. México. pp: 119-120.
- Rincon S. F., B. Johnson, J. Crossa, and S. Taba. 1996. Cluster analysis, an approach to sampling variability in maize accessions. *Maydica* 41: 307-316.
- Rohlf, F. J. 1993. *NTSYS-pc Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System. Version 1.80.* Department of Ecology and Evolution. State University of New York. pp: 85-112.
- Sánchez G., J. J. and M. M. Goodman. 1992. Relationships among the Mexican races of maize. *Econ. Bot.* 46: 72-85.
- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman, and O. Rawlings. 1993. Appropriate characters for racial classification in maize. *Econ. Bot.* 47: 44-59.
- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman, and C. W. Stuber. 2000a. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54: 43-59.
- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman, and C. W. Stuber. 2000b. Isozymatic diversity of the races of maize of the Americas. *Maydica* 45: 185-203.
- SAS Institute Inc. 1995. *SAS/STAT User's Guide, version 6, fifth edition, volume 1 and 2.* SAS Institute, Inc. Cary, N.C. pp: 113-138, 255-316, 621-638.
- Sneath, P. H. A., and R. R. Sokal. 1973. *Numerical Taxonomy. The Principles and Practice of Numerical Classification.* W. H. Freeman and Company. San Francisco. 573 p.
- Wellhausen, E. J., L. M. Roberts, y E. Hernández X. 1951. *Razas de Maíz en México, su Origen, Características y Distribución.* Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México. Folleto Técnico No. 5. D.F. 237 p.