

## Caracterización morfológica de una muestra etnográfica de maíz (*Zea mays* L.) raza bolita de Oaxaca\*

### Morphological characterization of an ethnographic sample of maize (*Zea mays* L.) ball race of Oaxaca

Araceli Ramírez Jaspeado<sup>1</sup>, Gabino García de los Santos<sup>1§</sup>, Aquiles Carballo Carballo<sup>1</sup>, Fernando Castillo González<sup>1</sup>, José Antonio Serratos<sup>2</sup> y Jorge Cadena Iñiguez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Recursos Genéticos y Productividad y <sup>3</sup>LPI 13. Comunidades Rurales Agrarias, Ejidos y Conocimiento Local. Colegio de Postgraduados, 36.5 carretera México- Texcoco, km Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. Tel. 015959521500. (aracelirj@colpos.mx; aquiles.carballo@gmail.com; fcastill@colpos.mx; jocadena@gmail.com; aserratos@gmail.com).<sup>2</sup>Universidad Autónoma de la Ciudad de México, Avenida la Corona 320 Loma la Palma, Delegación Gustavo A. Madero. C. P. 07160 México D. F. <sup>§</sup>Autora para correspondencia: garciag@colpos.mx.

#### Resumen

A partir de las necesidades, intereses, prácticas y conocimientos de las poblaciones humanas, se han conformado y mantenido la diversidad genética del maíz (*Zea mays* L.). Los usos especiales de este recurso han determinado criterios de selección para la domesticación, y han adquirido relevancia en el campo de la conservación de los recursos fitogenéticos por ser además, una vía de generación de ingresos económicos familiares. Un uso especial del maíz lo constituye la "tlayuda", tortilla de más de 30 centímetros de diámetro y "larga" vida de anaquel; famosa en Valles Centrales de Oaxaca, México, elaborada principalmente con grano de la raza Bolita. El objetivo de este trabajo fue la caracterización morfológica de 108 accesiones de maíz obtenidas en 17 localidades de los Distritos de Zimatlán, Ocotlán y Ejutla en Valles Centrales de Oaxaca durante el año 2011. Se consideraron nueve caracteres de la mazorca y grano y cinco relaciones entre estos caracteres. Se aplicó análisis de componentes principales, conglomerados y agrupamiento utilizado UPGMA y como medida de similaridad se empleó la distancia Euclidiana promedio. Se observó la formación de tres grupos principales con preponderancia de accesiones de raza Bolita así como, presencia de maíces de raza Pepitilla y en menor grado

#### Abstract

Based on the needs, interests, practices and knowledge of human populations, there has been shaped and maintained the genetic diversity of maize (*Zea mays* L.). Special uses of this resource have determined selection criteria for domestication, and have gained importance in the field of conservation of plant genetic resources, to be also a way of generating income to families. A special use of maize is constituted by the "tlayuda" tortilla over 30 cm in diameter and "long" shelf life; famous in Central Valleys of Oaxaca, Mexico, using mostly grain from ball race. The objective of this work was the morphological characterization of 108 accessions of maize obtained in 17 locations from Zimatlán Districts, Ejutla and Ocotlán in Central Valleys of Oaxaca in 2011. Nine traits from the cob and grain were considered, five relations between these traits. It was applied a principal component analysis, cluster and using UPGMA grouping and as similarity measure was employed the Euclidean distance average. It was observed the formation of three major groups with preponderance of ball race accessions, but also, presence of Pepitilla and in less extent Tuxpeño. The variability found, refers to the presence of racial complexes. It is possible to suggest that the result of this study allows the discrimination or racial inclusion in the

\* Recibido: noviembre de 2012  
Aceptado: junio de 2013

Tuxpeño. La variabilidad encontrada, alude la presencia de complejos raciales. Es posible sugerir que los resultados del presente permitan la discriminación o inclusión racial en la elaboración de la tortilla tlayuda y proponer criterios para una posible denominación de origen de dicho producto y con ello favorecer la preservación de maíces criollos.

**Palabras clave:** diversidad genética, conservación, tlayudas, maíces nativos.

## Introducción

En México, el maíz (*Zea mays* L.) es un elemento central en la alimentación, sociedad, cultura y economía, se han descrito alrededor de 59 razas de maíz (Sánchez *et al.*, 2000), de las cuales 35 se encuentran en el estado de Oaxaca (Aragón *et al.*, 2006). En dicho Estado, Aragón *et al.* (2006) evidenciaron una asociación estrecha entre los grupos indígenas con las razas de maíz, indicando por ejemplo, que el maíz Zapalote chico se cultiva principalmente en el Istmo de Tehuantepec por habitantes de la etnia Zapoteca del Istmo; y que los Zapotecos de Valles Centrales de Oaxaca siembran el maíz Bolita.

Es evidente que la continuidad del uso del maíz por los diferentes grupos humanos, favorece la permanencia y conservación de las variantes nativas, disminuye el riesgo de erosión y pérdida de diversidad genética (Altieri, 2004; Ortega-Pazcka, 2003), fortalece la identidad cultural y contribuye en la alimentación de los pueblos que hacen uso de el (Altieri, 2004). La selección del grano más apto y las características culinarias deseables del usuario también contribuyen a la identificación o selección de aquellas razas para usos "especiales"; éstos últimos definidos como los esenciales para la elaboración de un producto, donde la variedad de maíz utilizada le asigna características distintivas, sobresalientes y únicas (Ortega-Paczka, 2003).

Aragón *et al.*, (2003, 2006) y CONABIO (2012) señalaron al maíz Bolita como raza específica para la preparación de las tlayudas (tortilla de más de 30 centímetros de diámetro elaboradas en los Valles Centrales de Oaxaca), argumentando que con esta variedad se obtiene su particular textura debido a su atributos para la elaboración de masa para tortilla (Aragón *et al.*, 2003; Vázquez-Carrillo *et al.*, 2003; Aragón *et al.*, 2006). La tortilla tlayuda ha adquirido tal relevancia económica que se han formado agrupaciones

preparation of tortillas tlayuda and propose criteria for a possible designation of origin of such product and thus favor the preservation of native maize.

**Key words:** genetic diversity, conservation, tlayudas, native maize.

## Introduction

In Mexico, maize (*Zea mays* L.) is a central element in food, society, culture and economy, there have been described around 59 races of maize (Sánchez *et al.*, 2000), of which 35 are in the state of Oaxaca (Aragón *et al.*, 2006). In Oaxaca, Aragón *et al.* (2006) showed a close association between the indigenous groups with the races of maize, indicating for example that Zapalote chico maize is grown mainly in the Istmo of Tehuantepec by inhabitants of the Istmo Zapoteca ethnic group; and that Zapotecos from the Central Valley of Oaxaca grow ball maize.

It is clear that the continued use of maize by the different human groups, promotes permanence and conservation of native variants, reduces the risk of erosion and loss of genetic diversity (Altieri, 2004; Ortega-Pazcka, 2003), strengthens the cultural identity and contributes feeding people who uses it (Altieri, 2004). The selection of the fittest grain and desirable culinary characteristics from the user, also contributes to the identification or selection of those races for "special" uses; the latter defined as essential to the development of a product, where the maize variety used assigns distinctive traits, outstanding and unique (Ortega-Paczka, 2003).

Aragón *et al.* (2003, 2006) and CONABIO (2012) pointed to ball maize as specific race to prepare tlayudas (tortilla over 30 cm in diameter elaborated in the Central Valleys of Oaxaca), arguing that with this variety is obtained its unique texture due to its attributes for making tortilla dough (Aragón *et al.*, 2003; Vázquez-Carrillo *et al.*, 2003; Aragón *et al.*, 2006). The tortilla tlayuda has acquired such economic importance that groupings have been formed in order to increase its production in a steadily manner as an important economic activity, especially for districts like Ejutla, Ocotlán and Zimatlán, Oaxaca. Such is the case of Oaxaca Agricultural Organization composed of about 500 producers from the districts mentioned, dedicated to the production of ball race maize to elaborate tlayudas,

con el propósito de incrementar su producción de forma sostenida como una actividad económica importante, en especial para los distritos de Ejutla, Ocotlán y Zimatlán, Oaxaca. Tal es el caso, de la Organización Agropecuarios de Oaxaca integrada por cerca de 500 productores pertenecientes a los distritos mencionados, dedicados a la producción de maíz raza Bolita para la elaboración de tlayuda, sugiriendo la posibilidad de promover una denominación de origen como una medida de protección tanto para el recurso biológico como para la materia prima de elaboración de tortilla tlayuda con una delimitación geográfica.

Para apoyar tal medida indirecta de protección de la raza Bolita, se requiere actualizar la información de su uso. Una forma de estimar lo anterior, es mediante el estudio de caracteres morfológicos, que han sido utilizados ampliamente para el estudio de la diversidad en las razas de maíz (Wellhausen *et al.*, 1951; Sánchez *et al.*, 2000; Herrera *et al.*, 2004; Hortelano *et al.*, 2008). Bird y Goodman (1977) evidenciaron la utilidad de los caracteres morfológicos de mazorca y grano, (ocho caracteres de mazorca y grano) aplicados a la diversidad de maíz en el Continente Americano, resaltando que las relaciones encontradas fueron congruentes con clasificaciones realizadas utilizando una mayor información morfológica. Sánchez *et al.* (1993) y Herrera *et al.* (2000) determinaron que los caracteres de la mazorca en general, presentan interacción genético-ambiental de baja a moderada, lo que favorece su utilización en la descripción de poblaciones de maíz.

Lo anterior ayudaría a sugerir acciones que permitan actualizar el conocimiento de la diversidad genética del maíz raza Bolita en una región estratégica de conservación, proponer estrategias para la conservación biológica y cultural de los pueblos que la usufructúan desde tiempos ancestrales, y que es esencial para la elaboración de un alimento como es la Tlayuda, que permita estructurar premisas para una posible denominación de origen de la tortilla tlayuda.

Con base en lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo identificar la variabilidad morfológica de diferentes poblaciones de maíz raza Bolita que se usan en la elaboración de tortilla Tlayuda procedentes de los distritos de Zimatlán, Ocotlán y Ejutla en los Valles Centrales de Oaxaca.

suggesting the possibility of promoting an denomination of origin as a measure of protection for both the biological resource as raw material to elaborate tortilla tlayuda with a geographical area.

To support such an indirect measure of protection of ball race, is required to update information of its use. One way to estimate this is by studying morphological traits that have been used extensively for the study of diversity in the races of maize (Wellhausen *et al.*, 1951, Sánchez *et al.*, 2000, Herrera *et al.*, 2004; Hortelano *et al.*, 2008). Bird and Goodman (1977) showed the usefulness of the morphological traits of ear and grain, (eight traits of ear and grain) applied to maize diversity in the Americas, noting that the relationships found were consistent with classifications produced using a higher morphological information. Sánchez *et al.* (1993) and Herrera *et al.* (2000) determined that the traits on the cob in general, show low to moderate gene-environment interaction, favoring their use in describing maize populations.

The above would help to suggest actions allowing to update the knowledge of the genetic diversity from the ball maize race in a strategic region of conservation, propose strategies for biological and cultural conservation of indigenous that usufruct since ancient times, and is essential for the preparation of food as the tlayuda, allowing to structure premises for possible designation of origin of the tortilla tlayuda.

Based on the above, the present study aimed to identify morphological variability from different maize populations of ball race used in the elaboration of tortillas tlayuda from Zimatlán, Ocotlán and Ejutla districts in the Central Valleys of Oaxaca.

## Materials and methods

### Study area

The study was conducted in the Central Valleys of Oaxaca, in the districts of Ocotlán, Ejutla and Zimatlán (Figure 1).

### Biological material

The germplasm evaluated consisted of 108 accessions collected in fields from producers. Cob samples produced in spring-summer 2011 came from 17 locations across 10

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El estudio se realizó en Valles Centrales de Oaxaca, en los distritos de Ocotlán, Ejutla y Zimatlán (Figura 1).

### Material biológico

El germoplasma evaluado estuvo integrado por 108 accesiones colectadas en lotes de agricultores. Las muestras de mazorca producidas en el ciclo primavera-verano 2011 provinieron de 17 localidades de 10 municipios (La compañía, Taniche, Ejutla de Crespo, La Pe, Ocotlán de Morelos, Asunción, Yaxe, San Baltazar Chichicapam, Santa Cruz Mixtepec, Cienega de Zimatlán) y tres distritos (Ejutla, Ocotlán y Zimatlán) en Valles Centrales de Oaxaca en altitudes de entre 1 356-1 631 msnm.

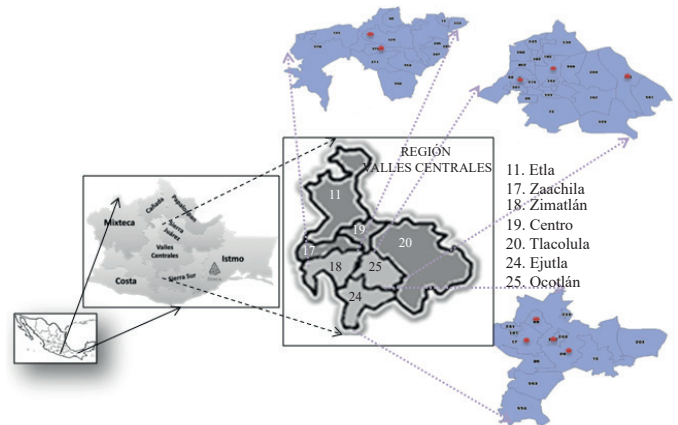
### Definición del tamaño de muestra

El tamaño de muestra se determinó con la fórmula sugerida por Trejo y Morales (2009):  $n = N / (N d^2 + 1)$ . Donde:  $n$ = tamaño de la muestra a calcular;  $N$ = tamaño de la población o número total de posibles encuestados (450 integrantes hasta el año 2011);  $d$ = precisión (0.085%) Por lo tanto;  $n = 106$  encuestas. La recolecta de las muestras se realizó de acuerdo a Serratos *et al.* (2007), muestreando en cada lote, cinco sitios (norte, sur, este, oeste y centro) y seleccionando diez plantas por sitio. Luego se tomó una mazorca por planta. Después, se eligieron cuatro mazorcas por sitio para constituir una muestra de 20 representativa del lote, la cual fue considerada como una accesión.

### Caracterización morfológica

Tomando como referencia que es el grano el que se transforma a masa y luego a tortilla y con el fin de determinar la variabilidad cuantitativa existente en los materiales biológicos recolectados, se caracterizaron morfológicamente las accesiones aplicando la guía de descriptores para maíz (IBPGR, 1991) y la guía técnica y manual gráfico para la descripción varietal (SNICS-SAGARPA, 2009; SINCS-CP, 2009), además de realizar una clasificación visual basada en características cualitativas en mazorca y grano, aplicando el Manual Gráfico para la descripción varietal (SINCS-CP, 2009) a cada una de las accesiones. Posteriormente, en cada una de las mazorcas se

municipalities (La Compañía, Taniche, Ejutla Crespo, La Pe, Ocotlán de Morelos, Asunción, Yaxe, San Baltazar Chichicapam, Santa Cruz Mixtepec, Ciénega de Zimatlán) and three districts (Ejutla, Ocotlán and Zimatlán) in Central Valleys of Oaxaca at altitudes between 1 356-1 631 masl.



**Figura 1. Localización geográfica del área de estudio que incluye los distritos de Ejutla, Ocotlán, Zimatlán en los Valles Centrales de Oaxaca.** Los puntos en rojo, corresponden a los municipios muestreados en cada distrito.

**Figure 1. Geographical location of the study area, including the districts of Ejutla, Ocotlan, Zimatlán in the Central Valleys of Oaxaca.** The red points correspond to the municipalities sampled in each district.

### Defining sample size

The sample size was determined using the formula suggested by Trejo and Morales (2009):  $n = N / (N d^2 + 1)$ . Where:  $n$ = sample size calculation,  $N$ = population size or total number of potential respondents (450 members until 2011);  $d$ = precision (0.085%). Therefore,  $n = 106$  surveys. The collection of samples was made according to Serratos *et al.* (2007), sampling in each field, five sites (north, south, east, west and center) and selecting ten plants per site. Then it was taken one ear per plant. Afterwards were chosen four ears per site to constitute a representative sample of 20 per field, which was considered as an accession.

### Morphological characterization

Taking as reference that grain is that transformed into dough and then in a tortilla and in order to determine the quantitative variability existing in biological materials collected, a morphological characterization of accessions applying the descriptors corn guide (IBPGR 1991) and the technical guide and graphic manual for varietal descriptors

registraron las variables de número de hileras (HILERAS) y granos por hilera en mazorca (GRANHILE), diámetro de mazorca (DIAMAZOR), de olote (DIAMOLOT), longitud de mazorca (LONGMAZO), largo, ancho y espesor de grano (LONGRAN, ANCHGRA, ESPEGRAN) en cm, así como el volumen promedio de grano (VOLUMEN) cm<sup>3</sup> (Hortelano *et al.*, 2008). Se calculó las relaciones entre caracteres como diámetro/longitud de mazorca (DMALONGM), diámetro de olote/diámetro de mazorca (DOLODMAZ), ancho de grano/longitud de grano (ANGLOGR), espesor de grano/largo de grano (ESGRLOGR), y espesor de grano /ancho de grano (ESGRANGR) (Sánchez *et al.*, 1993; Rincón *et al.*, 2010).

### Análisis de datos

Los promedios de cada accesión, en cada una de las variables morfológicas, fueron estandarizados con media cero y varianza uno; con esta información, se realizó un análisis de componentes principales mediante el procedimiento PROC PRINCOMP de SAS (SAS Institute, 2005) a partir de la matriz de correlaciones. Para observar las tendencias de la morfología de las accesiones, se graficó la dispersión de éstas en el plano determinado por los primeros dos componentes principales, así como en el plano determinado por el segundo y tercer componentes principales (CP). Para clasificar las accesiones en grupos relativamente homogéneos, se efectuó un análisis de conglomerados utilizando las medias estandarizadas de los parámetros evaluados y se estimó la matriz de distancias euclidiana promedio. El dendrograma se obtuvo por el método de agrupamiento UPGMA, promedio de grupos. Para definir la altura de corte en el dendrograma, se utilizó el índice Pseudo F obtenido mediante el programa SAS (SAS Institute, 2005).

## Resultados y discusión

Las muestras de las poblaciones de maíz recolectadas fueron preclasificadas a nivel de razas, a través de la inspección visual, registrando la presencia de las razas Bolita, Pepitilla y maíces tropicales, principalmente Tuxpeño. El Cuadro 1 muestra la distribución de las 108 accesiones de acuerdo a la agrupación derivada de la inspección visual y a su origen geográfico. El 70% de las accesiones provino de Ejutla, 20% correspondió a Zimatlán y el resto a Ocotlán. Del total de las accesiones, 46.3% fueron identificadas como raza Bolita, 25% como Bolita-Pepitilla, 10% como Bolita-Tuxpeño y el resto (18.7%) correspondió a formas menos relevantes (Cuadro 1).

(SNICS-SAGARPA, 2009; SINCS-CP, 2009), besides making a visual classification based on qualitative traits in ear and grain, using the graphic Manual for varietal descriptors (SINCS -CP, 2009) to each of the accessions. Subsequently, in each of the ears were registered the variables of number of rows (HILERA) and kernels per row on the ear (GRANHILE), ear diameter (DIAMAZOR) diameter of cob (DIAMOLOT), ear length (LONGMAZO), length, width and thickness of grain (LONGRAN, ANCHGRA, ESPEGRAN) in cm, thus the average grain volume (VOLUMEN) cm<sup>3</sup> (Hortelano *et al.*, 2008). It was calculated the relationships between traits like diameter / length of ear (DMALONGM), diameter of cob / ear diameter (DOLODMAZ), grain width / length of grain (ANGLOGR), thickness of grain / grain length (ESGRLOGR), and thickness of grain / grain width (ESGRANGR) (Sánchez *et al.*, 1993, Corner *et al.*, 2010).

### Data analysis

The averages of each accession in each of the morphological variables were standardized to zero mean and unit variance; with this information was conducted a principal components analysis using PROC PRINCOMP of SAS (SAS Institute, 2005) from the correlation matrix. To observe trends in the morphology of the accessions, was plotted the dispersion of these, in the plane determined by the first two principal components, as well as in the plane determined by the second and third principal components (CP). To classify the accessions into relatively homogeneous groups was performed a cluster analysis using the standardized mean of the parameters evaluated and estimated the Euclidean distance average matrix. The dendrogram was obtained by the UPGMA grouping method, group average. To define the cutting height in the dendrogram, was used the Pseudo F index obtained using SAS (SAS Institute, 2005).

## Results and discussion

Samples collected from maize populations were pre classified to race level, through visual inspection, recording the presence of races like ball, Pepitilla and tropical maize, mainly Tuxpeño. Table 1 shows the distribution of the 108 accessions according to the grouping derived from visual inspection and its geographical origin. 70% of the accessions came from Ejutla, 20% from Zimatlan and the rest from Ocotlan. Of all the accessions, 46.3% were identified as ball race, 25% as ball-Pepitilla, 10% ball-Tuxpeño and the rest (18.7%) corresponded to less relevant forms (Table 1).

La presencia de dichas razas coincidió con lo reportado por Aragón *et al.* (2006) quienes señalan que para los Valles Centrales de Oaxaca, las razas cultivadas son el Bolita, Pepitilla, Tepecintle y Tabloncillo, mientras que la raza de maíz Tuxpeño, se encuentra en la región Costa, Istmo de Tehuantepec, Sierra Juárez y Tuxtepec. La convivencia de las razas Bolita y Pepitilla, identificada esta última por tener granos alargados puntiagudos que permite su diferenciación de otras razas que le confieren buena calidad para la elaboración de tortilla (Ortega-Paczka, 2003; Vázquez *et al.*, 2010), ha llevado a formar poblaciones de tipos inter-raciales; es decir, complejos Bolita-Pepitilla (Muñozcano, 2011).

### Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales, sugirió que la diversidad de maíz en las localidades muestreadas estuvo integrada mayormente por variantes de la raza Bolita, y con menor frecuencia, por formas intermedias de Bolita con Pepitilla o Tuxpeño, lo cual confirma la información de complejos interracial. Los tres primeros componentes principales explicaron 84% de la variación total entre las poblaciones con 37.2%, 27.7% y 19.4% para el primero, segundo y tercer componente, respectivamente (Cuadro 2); y las variables con mayor aportación por sus valores, resaltados en negritas, fueron para el CP1: la variable relación ESGRLOGR, seguida de ESPEGRAN, de la variable relación ANGLOGR y GRANHILE, por lo que esta componente fue definida con espesor de grano y forma del grano; mientras que para el CP2 correspondieron el VOLUMEN, ANCHGRA, LONGMAZO, DIAMAZOR y DIAMOLOT. Dicha componente fue identificada con dimensión de la mazorca, ancho y volumen del grano. Finalmente para el CP3 concernieron la variable HILERAS, y la variable relación DOLODMAZ.

En la dispersión obtenida por los CP 1 y 2 (Figura 2) se observa en la posición extrema derecha y superior derecha, las formas pertenecientes a granos gruesos (marcados en rojo) y voluminosos, lo cual coincide, de acuerdo a Wellhausen *et al.* (1951) y Aragón *et al.* (2006), como materiales descritos de raza Bolita; mientras que en el extremo izquierdo se agruparon granos más delgados, menos anchos, asociados a la presencia de maíz raza Pepitilla y combinaciones con Bolita.

### Cuadro 1. Distribución de las accesiones en base a su clasificación visual y su origen geográfico.

**Table 1. Distribution of accessions based on visual classification and geographical origin.**

Grupos clasificación visual/Origen	Ejutla	Zimatlán	Ocotlán	Total
Bolita (B)	27	16	7	50
Bolita-Pepitilla (Bp)	22	4	1	27
Bolita-Tuxpeño (Bt)	7	2	2	11
Bolita desarrollo inadecuado (Bm)	7	0	0	7
Pepitilla-Bolita (Pb)	3	0	0	3
Tuxpeño-Bolita (Tb)	5	0	0	5
Tuxpeño (T)	3	0	0	3
Heterogéneo (H)	1	0	0	1
No identificado (N)	1	0	0	1
<b>Total</b>	<b>76</b>	<b>22</b>	<b>10</b>	<b>108</b>

The presence of such races coincided with those reported by Aragón *et al.* (2006) who point out that in the Central Valleys of Oaxaca are cultivated races ball, Pepitilla, Tepecintle and Tabloncillo, while Tuxpeño race is located in the coastal region, Istmo of Tehuantepec, Sierra Juárez and Tuxtepec. The coexistence of races ball and Pepitilla, the latter identified for having pointy elongated grains that allows its differentiation from other races that gives good quality to elaborate tortillas (Ortega-Paczka, 2003; Vázquez *et al.*, 2010), has lead to form populations of inter-racial types; i.e. complex ball-Pepitilla (Muñozcano, 2011).

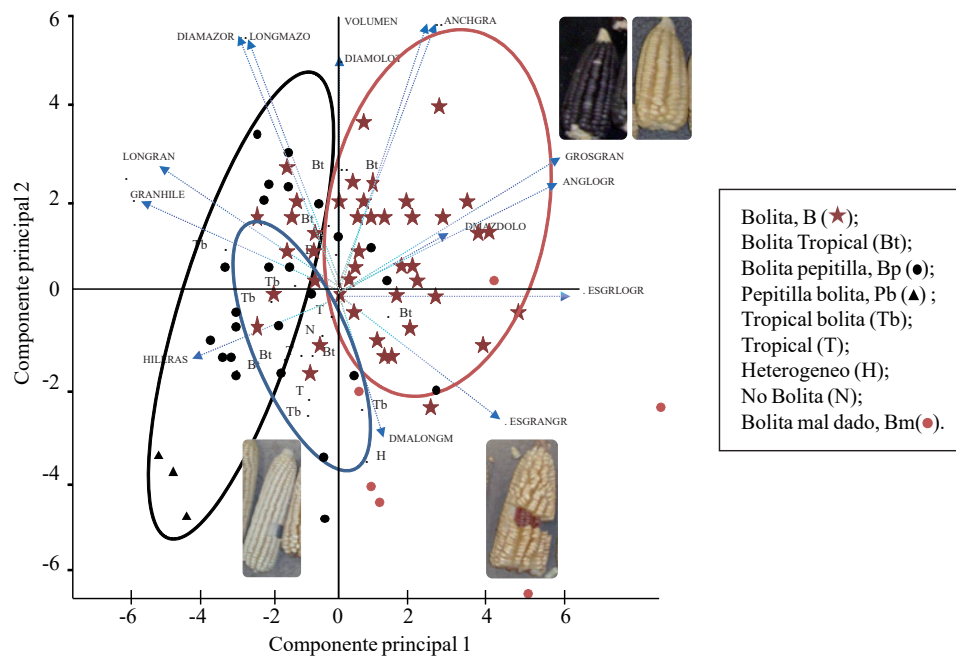
### Principal component analysis

The principal components analysis suggested that maize diversity in the localities sampled consisted mostly by ball race variants, and less frequently, by intermediate forms of ball with Pepitilla or Tuxpeño, confirming the information of interracial complex. The first three principal components explained 84% of the total variation among populations with 37.2%, 27.7% and 19.4% for the first, second and third component, respectively (Table 2) and variables more contribution by their values, highlighted in bold, were for CP1: the relationship variable ESGRLOGR, followed by ESPEGRAN, of relationship variable ANGLOGR and GRANHILE, so this component was defined as grain thickness and grain shape; while for CP2 corresponded VOLUME, ANCHGRA, LONGMAZO, DIAMAZOR

**Cuadro 2. Valores y vectores propios de los componentes principales (CP) que describen la variación morfológica de 108 poblaciones de maíz nativo de los distritos de Ocotlán, Ejutla y Zimatlán de los Valles Centrales de Oaxaca. 2011 primavera-verano.**

**Table 2. Values and eigenvectors of principal components (CP) that describe the morphological variation of 108 native maize populations from districts Ocotlan, Ejutla and Zimatlan from Central Valleys of Oaxaca. Spring-summer 2011.**

Características	CP1	CP2	CP3
Valor propio	5.218	3.880	2.710
Varianza explicada (%)	0.373	0.277	0.194
Varianza acumulada (%)	0.373	0.650	0.843
Vectores propios de variables morfológicas			
Diámetro de mazorca (DIAMAZOR)	-0.1752	0.386	0.003
Longitud de mazorca (LONGMAZO)	-0.1642	0.387	0.270
Número de hileras (HILERAS)	-0.256	-0.103	0.401
Granos por hilera (GRANHILE)	-0.355	0.144	0.200
Ancho de grano (ANCHGRA)	0.169	0.408	-0.263
Longitud de grano (LONGRAN)	-0.315	0.196	-0.274
Espesor de grano (ESPEGRAN)	0.389	0.185	0.036
Diámetro del olote (DIAMOLOT)	-0.003	0.371	0.308
Diámetro-longitud de mazorca (DMALONGM)	0.085	-0.209	-0.345
Diámetro del olote - diámetro de mazorca (DOLODMAZ)	0.193	0.091	0.430
Ancho de grano-longitud de grano (ANGLOGR)	0.388	0.179	-0.018
Espesor de grano-longitud de grano (ESGRLOGR)	0.414	-0.002	0.154
Espesor de grano-ancho de grano (ESGRANGR)	0.280	-0.203	0.323
Volumen de grano (VOLUMEN)	0.162	0.410	-0.232



**Figura 2. Dispersión de 108 accesiones de maíz para elaborar tortilla tlayuda en los Valles Centrales de Oaxaca, según relaciones derivadas del grano y mazorca, primavera- verano 2011.**

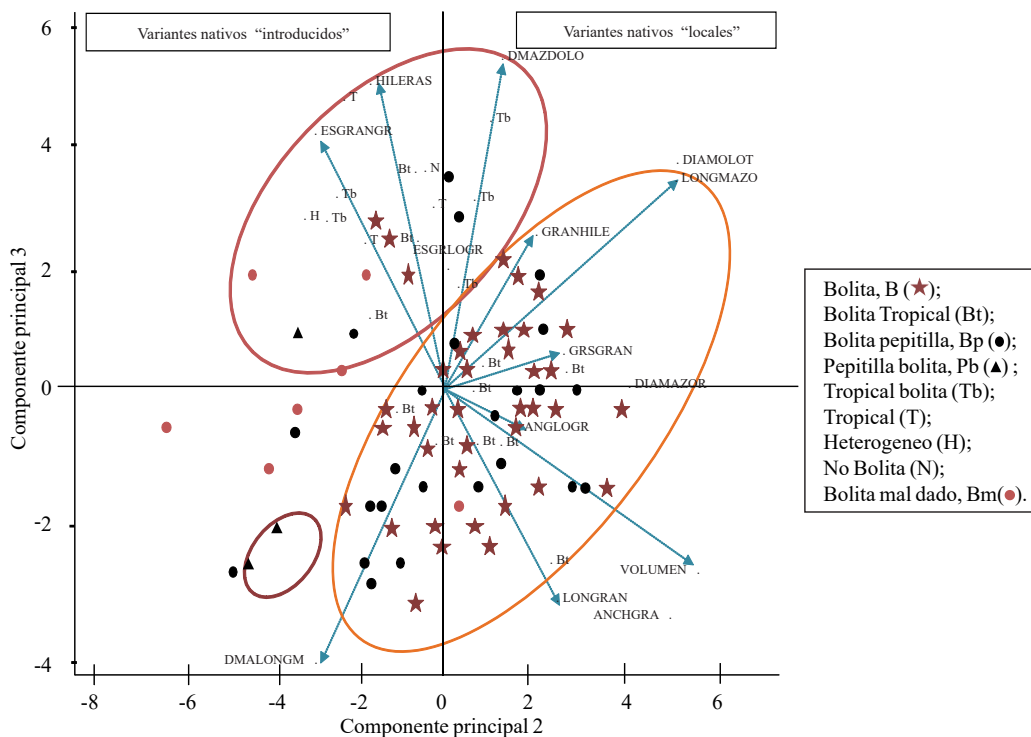
**Figure 2. Dispersion of 108 accessions of maize to elaborate tortillas tlayuda in Central Valleys of Oaxaca, according to relations derived from grain and ear, spring-summer 2011.**

Con relación a los CP 2 y 3, se vislumbró la formación de dos grupos, uno integrado por poblaciones Bolita y la combinación de ésta con otras razas asignándole la nomenclatura de “variantes nativos locales”; y el segundo denominado como “variantes nativos introducidas” que es donde se observó en mayor frecuencia poblaciones influenciadas por la raza Pepitilla, Tuxpeño y combinaciones de estas con Bolita (Figura 3). Lo anterior concuerda con lo reportado por Aragón *et al.* (2003), quienes en un estudio de conservación *in situ* y usos locales de las razas de maíz en Oaxaca, analizando la diversidad intra-racial, registraron en 38 accesiones de maíz colectadas en 15 comunidades de Valles Centrales, una extensa variación fenotípica dentro de la raza de maíz Bolita, además de la presencia de formas intermedias de ésta con las razas Pepitilla y Tuxpeño, y consideraron que dichas accesiones evaluadas son una representación de la diversidad genética interracial actual en el complejo de la raza Bolita.

and DIAMOLOTT. This component was identified with ear dimension, width and volume of the grain. Finally for CP3 concerned the variable HILERAS, and the relationship variable DOLODMAZ.

In the dispersion obtained by the CP 1 and 2 (Figure 2) is observed in the far right position and upper right, the forms belonging to grain thickness (marked in red) and bulky, which coincides, according to Wellhausen *et al.* (1951) and Aragón *et al.* (2006), materials described as ball race; while in the left end were grouped grains thinner, less width, associated with the presence of race maize Pepitilla and combinations with ball.

Regarding CP 2 and 3, is envisioned the formation of two groups, one composed of ball populations and combining it with other races assigning the nomenclature of "local native variants" and the second referred to as "native



**Figura 3. Dispersión de 108 accesiones de maíz para elaborar tortilla tlayuda en los Valles Centrales de Oaxaca, según dimensiones del grano y mazorca, primavera- verano 2011. En “naranja”, los variantes nativos locales y en “rojo” los variantes nativos introducidos.**

**Figure 3. Dispersion of 108 accessions of maize to elaborate tortillas tlayuda in Central Valleys of Oaxaca, according to grain and cob dimensions. spring-summer 2011. In "orange", the local native variants and in "red" native variants introduced.**

Al respecto, Muñozcano (2011) señala que la diversidad de maíz en Santa María Tataltepec en la región mixteca de Oaxaca, está integrada por variantes de las razas Bolita,

variants introduced" that is where it was most often observed populations influenced by races Pepitilla, Tuxpeño and combinations of these with ball (Figure 3). The above



Pepitilla y formas intermedias de estas; indicando que podría existir divergencia genética de la raza Bolita y cierto grado de similitud con Pepitilla, lo que concuerda con lo citado por Hortelano *et al.* (2008) quienes han descrito fenómenos parecidos en el Valle de Puebla, México.

Aragón *et al.* (2006), mencionan que la raza Bolita presenta introgresión con otras razas, debido a que su área de adaptación es muy amplia. Al respecto y de acuerdo a la distribución de las razas de maíz en Oaxaca referidas a los cinco estratos altitudinales, se indica que la presencia de la raza Bolita se ubica en una altitud intermedia o subtropical, zona de transición y Valles Altos con rangos de entre 1 001-1 800, 1 801-2 000 y 2 001-2 500 m de altitud respectivamente; mientras que la raza Pepitilla corresponde al estrato de altitud intermedia o subtropical y finalmente el maíz Tuxpeño es ubicado en altitudes de 0-1000 y 1 001-1 800 m correspondientes al estrato Trópico y Subtrópico respectivamente. De esta forma, el área común para las razas Bolita, Tuxpeño y Pepitilla es el estrato de altitud intermedia o subtropical (Aragón *et al.*, 2006). Los Valles Centrales tienen altitudes de entre 1 500 y 1 800 m y un clima subcálido húmedo y semiárido (Ortega-Paczka, 2003).

### Análisis de conglomerados

La agrupación de las poblaciones en el análisis de conglomerados (Figura 4) y considerando la dispersión de éstas en el plano determinado por los CP 1 y 2 (Figura 2) y CP 2 y 3 (Figura 3), señalan que las poblaciones constituyen un complejo racial. Las accesiones forman nueve grupos, cinco de ellos con más de seis poblaciones y los restantes cuatro, constituidos por sólo una población. Para identificar las similitudes y diferencias entre grupos derivados del análisis de conglomerados, se procedió a realizar un análisis de varianza, resultando que hubo diferencias significativas entre los nueve grupos definidos.

Los grupos I, V, II, IV y III, fueron los más representativos en número, ya que contaron con 67, 13, 11, 7 y 6 accesiones de maíz respectivamente, mientras que los grupos VI, VII y VIII y IX estuvieron representados por una población (Cuadro 3).

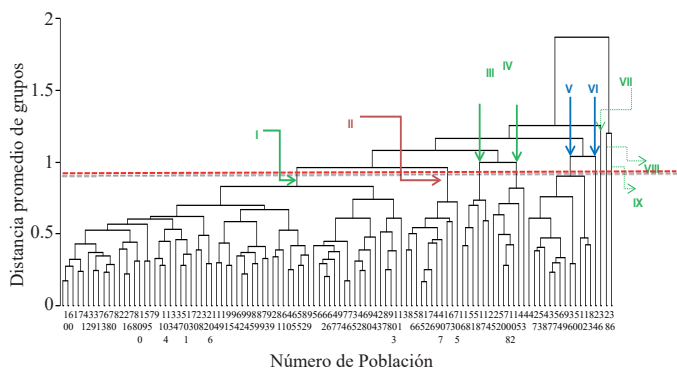
agrees with that reported by Aragón *et al.* (2003) who in a study of *in situ* conservation and local uses of maize races in Oaxaca, analyzing intra-racial diversity, recorded in 38 maize accessions collected in 15 communities from the Central Valley, an extensive phenotypic variation within ball maize race, besides the presence of intermediate forms of it with Pepitilla and Tuxpeño races, and considered that these accessions evaluated are representative of the actual interracial genetic diversity in the complex ball race .

In this regard, Muñozcano (2011) notes that maize diversity in Santa María Tataltepec in the Mixteca region of Oaxaca, consists of variants of races ball, Pepitilla and intermediate forms of these; indicating that there may be genetic divergence of ball race and some degree of similarity with Pepitilla, consistent with that cited by Horton *et al.* (2008) who have described similar phenomena in the Valley of Puebla, Mexico.

Aragón *et al.* (2006) mention that ball race present introgression with other races, because their area of adaptation is very wide. In this regard and according to the distribution of maize races in Oaxaca regarding the five altitudinal strata, indicate that the presence of ball race is located at an intermediate altitude or subtropics, transition zone and High Valley with ranges between 1 001-1 800, 1 801-2 000 and 2 001-2 500 m of altitude respectively; while Pepitilla race corresponds to an intermediate altitude stratum or subtropics and finally Tuxpeño is located at altitudes of 0-1 000 and 1 001-1 800 m corresponding to Tropics and Subtropics stratum respectively. Thus, the common area for the races ball, Tuxpeño and Pepitilla is in the intermediate altitude stratum or subtropics (Aragón *et al.*, 2006). The Central Valleys have altitudes between 1 500 and 1 800 m with a warm humid and semiarid climate (Ortega-Paczka, 2003).

### Cluster analysis

The grouping of populations in the cluster analysis (Figure 4) and considering the dispersion of these in the plane, determined by the CP 1 and 2 (Figure 2) and CP 2 and 3 (Figure 3), indicate that populations constitute a racial complex. The accessions form nine groups, five of them with more than six populations and the remaining four, consisting of only one population. To identify the



**Figura 4. Dendrograma del análisis de conglomerados sobre 108 accesiones de maíz nativas de tres distritos de Valles Centrales de Oaxaca.**

**Figure 4. Dendrogram from cluster analysis of 108 accessions, of native maize in three districts from Central Valleys of Oaxaca.**

similarities and differences between groups derived from cluster analysis, proceeded to make an analysis of variance, resulting in significant differences between the nine groups defined.

Groups I, V, II, IV and III were the most representative in number, since they counted with 67, 13, 11, 7 and 6 maize accessions respectively; while groups VI, VII, VIII and IX were represented by one population (Table 3).

Group I integrated 62% of all materials characterized and integrated 94% (relative) of populations corresponding to ball race and variants like ball-Pepitilla, ball-Tuxpeño and the remaining 6% corresponding to tropical maize. The above relates to the trends observed in the principal component analysis, specifically CP 1, which corresponded

**Cuadro 3. Agrupación de accesiones de maíz (*Zea mays* L.) mediante un análisis de conglomerados (I-IX).**

**Table 3. Grouping of maize accessions (*Zea mays* L.) by a cluster analysis (I-IX).**

Grupos	Bolita (B)	Bolita-pepitilla (Bp)	Bolita-tuxpeño (Bt)	Bolita desarrollo inadecuado (Bm)	Pepitilla-bolita (Pb)	Tuxpeño-bolita (Tb)	Tuxpeño (T)	Heterogéneo (H)	Núm. Identificado (N)	Total
I	37	16	10	0	0	3	0	0	1	67
II	2	0	1	2	0	2	3	1	0	11
III	3	1	0	2	0	0	0	0	0	6
IV	7	0	0	0	0	0	0	0	0	7
V	1	9	0	1	2	0	0	0	0	13
VI	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
VII	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
VIII	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
IX	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Total	50	27	11	7	3	5	3	1	1	108

El grupo I integró 62% del total de los materiales caracterizados e integró 94% (relativo) de las poblaciones correspondientes a raza Bolita y variantes como Bolita-Pepitilla, Bolita-Tuxpeño y 6% restante correspondiente a maíces tropicales. Lo anterior se relaciona con las tendencias observadas en el análisis de componentes principales, en específico al CP 1, que correspondió al espesor y forma del grano, así como al CP 2, que consideró la dimensión de mazorca, volumen y grosor del grano, que agruparon en mayor medida las accesiones identificadas como Bolita y en menor medida variantes de Bolita-pepitilla.

Lo más cercano a las variantes de maíz Pepitilla se encontró en las poblaciones 30, 50 y 26, de las cuales las dos primeras fueron agrupadas en el grupo V, el cual estuvo representado por

to the thickness and shape of the grain, thus CP 2, which considered the size of cob, grain volume and thickness, which grouped most of the accessions identified as Ball and in less extent Ball-Pepitilla variants.

The closest to variants of Pepitilla maize was found in populations 30, 50 and 26, of which the first two were grouped in Group V, which was represented by nine accessions of Ball-Pepitilla. While group II consisted primarily of ball variants with tropical influence. The latter is according to the dispersion of accessions obtained from CP 2 and 3 (the latter corresponding to the relation of ear diameter, cob and number of rows in the ear), where grouped the closest accessions to ball, while at the opposite end, can be observed most of the accessions identified as tropical maize with tropical influence.

nueve accesiones de Bolita-pepitilla. Mientras que el grupo II estuvo integrado principalmente por variantes de Bolita con influencia tropical. Lo anterior es de acuerdo a la dispersión de las accesiones obtenida con base a los CP 2 y 3 (esta última correspondiente a la relación del diámetro de la mazorca, olote y número de hileras en la mazorca), donde se agruparon las accesiones más cercanas a Bolita, mientras que en el extremo contrario se observaron mayormente las accesiones identificadas como maíces tropicales con influencia tropical.

El grupo IV y III representaron 12% del total de las accesiones. El primero estuvo formado por accesiones de raza Bolita, mientras que el III se encontró integrado por maíz Bolita, Bolita-pepitilla, y Bolita con desarrollo inadecuado, esto último atribuido a condiciones agroecológicas no adecuadas, posiblemente por déficit de humedad. Finalmente los grupos VI, VII, VIII y IX se integraron con una población de Pepitilla-bolita, Bolita-pepitilla, Bolita con desarrollo inadecuado y Bolita con desarrollo inadecuado, respectivamente.

La variabilidad en las razas de maíz identificadas, sugiere también que las poblaciones cultivadas no son homogéneas en términos de presentar atributos específicos a lo descrito como raza primaria (Wellhausen *et al.*, 1951) por el contrario, muestran combinaciones de características morfológicas de dos o más razas, lo cual denota formación de complejos raciales identificados en el área de Valles Centrales de Oaxaca, y una dinámica en las poblaciones donde existen extremos morfológicos de las razas, así como, un gama de variabilidad producto de la dinámica de manejo entre los productores.

Al respecto, Anderson (1946), señaló que el maíz en México es extremadamente variable y lo relacionó con lo encontrado en poblaciones de Estados Unidos de América, indicando que la diversidad de una sola localidad en México, pudiera ser equivalente a toda la existente en Estados Unidos. Se ha señalado que existe una amplia base genética de las poblaciones de las razas de maíz mexicanas (Reif *et al.*, 2006), y la diversidad existente es con mucha probabilidad producto de la recombinación genética que se lleva a cabo de manera dinámica por el flujo de polen entre poblaciones vecinas y por el movimiento de semillas que propician los agricultores mediante el intercambio, ya sea entre vecinos o entre regiones más lejanas, además de la propia selección natural y la que practica el agricultor (Muñozcano, 2011).

Al respecto, Carvalho *et al.* (2004) han señalado que la participación de los agricultores ha sido evidente e importante en el mantenimiento de la variabilidad genética

Group IV and III accounted for 12% of total accessions. The first consisted of ball accessions, while III was found composed by maize ball, ball-Pepitilla, and ball with inadequate development, the latter attributed to unsuitable agro ecological conditions, possibly moisture deficit. Finally groups VI, VII, VIII and IX were integrated by one population of Pepitilla-ball, ball-Pepitilla, ball with inadequate development and ball with inadequate and inadequate development, respectively.

The variability in the races of maize identified, also suggests that cultivated populations are not homogeneous in terms of presenting specific attributes described as primary race (Wellhausen *et al.*, 1951) on the contrary, show combinations morphological traits of two or more races, denoting racial complex formation identified in the area of Central Valleys of Oaxaca, and dynamics in populations where there are extreme morphological races, as well as a range of variability, result of handling dynamics between producers.

In this regard, Anderson (1946) noted that maize in Mexico is extremely variable and related to that found in populations of the United States of America, indicating that the diversity of a single locality in Mexico could be equivalent to the existing in USA. It has been noted the existence of a broad genetic base of the populations of Mexican maize races (Reif *et al.*, 2006), and the existing diversity is very likely the result of genetic recombination that is performed dynamically by the pollen flow between neighboring populations and by seed movement that producers do through exchange, whether among neighbors or more distant regions, in addition to the natural selection and the one producer do (Muñozcano, 2011).

In this regard, Carvalho *et al.* (2004) have pointed out that the participation of producers has been evident and important in keeping genetic variability in the populations. Muñozcano (2011) points out that the differences between maize populations may be as far as to classify them into different races, or so close that came to constitute a variant within the same race, either, intermediate forms between races. This could explain the coexistence of tropical maize (Tuxpeño), Pepitilla and ball in this study and agrees with that reported by Chávez-Servia *et al.* (2011), who recorded the presence of ball maize in population samples from 14 municipalities of the Tlaxiaco district in Oaxaca, located more than 200 km from Central Valleys of Oaxaca and in a different environment.

de las poblaciones. Muñozcano, (2011) señala que las diferencias entre poblaciones de maíz, pueden ser tan lejanas como al clasificarlas en diferentes razas, o tan cercanas que llegan a constituir una variante dentro de la misma raza, o bien, formas intermedias entre razas. Lo anterior podría explicar la convivencia de maíces tropicales (tuxpeño), Pepitilla y Bolita en este estudio y coincide con lo reportado por Chávez-Servia *et al.* (2011), quienes registraron la presencia de maíz Bolita en muestras poblacionales de maíz de 14 municipios del distrito de Tlaxiaco, Oaxaca, situado a más de 200 km de Valles Centrales de Oaxaca y en un ambiente distinto.

## Conclusiones

La diversidad identificada en las 108 accesiones de maíz procedentes de Valles Centrales Oaxaca, estuvo integrada por raza Bolita y variantes de Bolita con Pepitilla y Tuxpeño principalmente. La variación biológica identificada se relacionó con la dispersión de las variables ubicadas en los tres primeros componentes principales, identificando además la formación de tres grupos, donde el mayor porcentaje fue el conformado por materiales raza Bolita mientras que los restantes se integraron por accesiones cuyas combinaciones en diversidad fue de Bolita con Pepitilla y Tuxpeño.

El análisis de conglomerados sugirió nueve grupos de accesiones dentro de las colectas de maíz para tlayuda en los Valles Centrales de Oaxaca. Los grupos con mayor cantidad de accesiones fueron el I, II y V; no obstante la agrupación obtenida reflejó combinaciones de características morfológicas de dos o más razas, no habiendo una claridad específica de alineación en una sola raza, sino más bien, identificando un complejo racial.

Dado que existe la participación de un complejo racial, lo cual presupone una heterogeneidad en los granos utilizados para la elaboración de la tortilla, es posible sugerir que los resultados del presente, den pauta a premisas de discriminación o inclusión racial en la elaboración de la tortilla Tlayuda. Con la finalidad de detectar variantes que satisfagan una mayor productividad o expresen mejores caracteres agronómicos para atender las exigencias de la demanda y proponer criterios para una posible denominación de origen de dicho producto y con ello favorecer la preservación de la raza Bolita y las integrantes del complejo racial identificadas.

## Conclusions

The diversity identified in the 108 accessions of maize precedent from Central Valleys of Oaxaca, was integrated by Ball race and variants of Ball with Pepitilla and mainly Tuxpeño. The identified biological variation related to the dispersion of variables located in the first three principal components, besides identifying the formation of three groups, where the highest percentage was comprised by ball race materials, while the remaining were integrated by accessions whose combinations in diversity was Ball with Pepitilla and Tuxpeño.

Cluster analysis suggested nine groups of accessions within collections of maize for tlayuda in the Central Valleys of Oaxaca. Groups with the largest number of accessions were I, II and V; however, the obtained grouping reflected combinations of morphological traits of two or more races, not having a specific definition of alignment in one single race, but rather, identifying a racial complex.

Since it exist the participation of a racial complex, which presupposes heterogeneity in the grains used in the elaboration of tortillas, it is possible to suggest that the results of this study, give guideline to premises of discrimination or racial inclusion in the elaboration of tortillas tlayuda. In order to detect variants that satisfy higher productivity or better express agronomic traits to meet the demands and propose criteria for a possible designation of origin of such product and thus favor the preservation of the Ball race and the integrants of the racial complex identified.

*End of the English version*



## Literatura citada

- Altieri, M. A. 2004. Aspectos socio-culturales de la diversidad del maíz nativo. En maíz y biodiversidad: efectos del maíz transgénico en México. Conclusiones y recomendaciones. Informe del Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental. 9pp.
- Anderson, E. 1946. Maize in México a preliminary survey. *Ann. Missouri Bot. Garden.* 2(33):147-247.
- Aragón, C. F.; Taba, S.; Castro, G. H.; Hernández C. J. M.; Cabrera, T. J. M.; Osorio, A. L. y Dillanes, R. N. 2003. *In situ* conservation and use of local maize races in Oaxaca, México: a participatory and decentralized approach. In: Taba, S. (Ed.). Latin American maize germplasm conservation: regeneration, in situ conservation, core subsets, and prebreeding. Proceedings of a workshop held at CIMMYT. April 7-10, 2003. México D. F. CIMMYT. 26-38 pp.

- Aragón, C. F.; Taba, S.; Hernández, C. J. M.; Figueroa, C. J. de D.; Serrano, V. y Castro, G. H. 2006. Catálogo de maíces criollos de Oaxaca. INIFAP. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur (CIRPS). Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Oaxaca, México. Libro técnico Núm. 6. 334p.
- Bird, R. M. and Goodman, M. M. 1977. The races of maize V: grouping maize races on the basis of ear morphology. *Econ. Bot.* 4 (31):471-481.
- Carvalho, V. P.; Ruas, C. F.; Ferreira, J. M.; Moreira, R. M. P. and Ruas, P. M. 2004. Genetic diversity among maize (*Zeamays* L.) landrace assessed by RAPD markers. *Genetics Mol. Biol.* 27(2):228-236.
- Chávez-Servia, J. L.; Diego-Flores, P. y Carrillo-Rodríguez, J. C. 2011. Complejos raciales de poblaciones de maíz en San Martín Huamelulpan, Oaxaca. *Rev. Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable.* 1(7):107-115.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2012. Proyecto global de maíces nativos. Razas de México, grupo de ocho hileras. *In:* <http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.html>. (consultado octubre, 2012).
- Herrera, C. B. E.; Castillo, G. F.; Sánchez, G. J. J.; Ortega, P. R. A. 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, J. M. C.; Ortega, P. R. A. y Goodman, M. M. 2004. Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38:191-206.
- Hortelano, S. R. R.; Gil, M. A.; Santacruz, V. A.; Miranda, C. S. y Córdova, T. L. 2008. Diversidad morfológica de maíces nativos del Valle de Puebla. *Agric. Téc. Méx.* 2(34):189-200.
- International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). 1991. Descriptores para maíz. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)- Roma, Italia. 88 p.
- Muñozcano, R. M. 2011. Diversidad genética del maíz, perspectivas para su conservación y desarrollo en una comunidad mixteca de Oaxaca: Santa María Tataltepec. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 64 p.
- Ortega, P. R. 2003. La diversidad del maíz en México. *In:* sin maíz no hay país. Esteva, G. y Marielle, C. (Coords.). México, D. F. Culturas Populares de México. 123-154 pp.
- Rincón, S. F.; Castillo, G. F. y Ruiz, N. A. T. 2010. Diversidad y distribución de los maíces nativos en Coahuila, México. SOMEFI. Chapingo, Texcoco, Estado de México. 116 p.
- Reif, J. C.; Warburton, M. L.; Xia, X. C.; Hoisington, D. A.; Crossa, J.; Taba, S.; Muminović, J.; Bohn, M.; Frisch, M. and Melchinger, A. E. 2006. Grouping of accessions of Mexican races of maize revisited with SSR markers. *Theor. Appl. Genetics* 113:177-185.
- Salinas-Moreno, Y.; Gómez-Montiel, N. O.; Cervantes-Martínez, J. E.; Sierra-Macías, M.; Palafox-Caballero, A.; Betanzos-Mendoza, E. y Coutiño-Estrada, B. 2010. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(4):509-523.
- Sánchez, G. J. J.; Goodman, M. M. and Rawlings, J. O. 1993. Appropriate characters for racial classification in maize. *Econ. Bot.* 47:44-59.
- Sánchez, G. J. J.; Goodman, M. M. and Stuber, C. W. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54(1):43-59.
- Serratos-Hernández, J. A.; Gómez-Olivares, J. L.; Salinas-Arreortua, N.; Buendía-Rodríguez, E.; Islas-Gutiérrez, F. and Ita, de A. 2007. Transgenic proteins in maize in the soil conservation area of Federal District, México. *Front Ecol. Environ.* 5(5):247-252.
- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2010. Cierre de la producción agrícola por estado. URL:<http://www.siap.gob.mx/index.php/agricultura/produccion-anual/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado.html>.
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). 2009. Manual gráfico para la descripción varietal de maíz (*Zea mays* L.). Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) - Colegio de Postgraduados (CP). SAGARPA. 118 p.
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). 2009. Guía técnica para la descripción varietal. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). SAGARPA. 32 p.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 2005. The SAS® System for Windows® (Ver. 9.0). SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Trejo, B. T. y Morales, J. F. F. 2009. Manual para la elaboración de una encuesta rural. Colegio de Postgraduados. 95 p.
- Vázquez-Carrillo, M. G.; Guzmán-Báez, L.; García, J. L. A.; Márquez-Sánchez, F. y Castillo-Merino, J. 2003. Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(004):231-238.
- Vázquez-Carrillo, M. G.; Pérez-Caramillo, J. P.; Hernández-Casillas, J. M.; Marrufo-Díaz, M. L. y Martínez-Ruiz, E. 2010. Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del altiplano y valle del mezquital, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(4):49-56.
- Vigouroux, Y.; Glaubitz, J. C.; Matsuoka, Y.; Goodman, M. M.; Sánchez, J. G. and Doebley, J. 2008. Population structure and genetic diversity of new world maize races assessed by DNA microsatellites. *Amer. J. Bot.* 95(10):1240-1253.
- Wellhausen, E. J.; Roberts, L. M.; Hernández, E. X. y Mangelsdorf, P. C. 1951. Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. Oficina de Estudios Especiales, Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG). México, D. F. Folleto técnico Núm. 5. 237 p.