

Diversidad morfológica de maíces nativos de la región Grijalva del estado de Tabasco, México

Morphological diversity of maize landraces in the Grijalva region of the state of Tabasco, Mexico

C.A. Narez-Jiménez, E. de la Cruz-Lázaro, A. Gómez-Vázquez, A. Cruz-Hernández, N.P. Brito-Manzano y C. Márquez-Quiroz

Cuerpo Académico Producción Agropecuaria en el Trópico Húmedo. División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Km 25+2 Carretera Villahermosa-Teapa, Centro, Tabasco, México.

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar la diversidad de maíces criollos que se cultivan en el estado de Tabasco, México. Durante el 2011 se evaluaron 38 maíces criollos provenientes de nueve municipios de la región Grijalva. Con base en caracteres morfológicos se evaluaron 18 variables para conocer su diversidad. El análisis de componentes principales definió que las variables con mayor influencia para explicar la variación observada fueron: altura de la mazorca, biomasa de la mazorca, biomasa del grano en la mazorca y número de granos por mazorca. Se utilizó el promedio del grupo y como medida de disimilitud el complemento del coeficiente de correlación (r_c) del dendrograma correspondiente. Se identificaron cinco grupos a una distancia r_c de 0,96 con base en la variabilidad característica de las poblaciones. Al interior de los grupos se presentó una diferencia gradual y continua de variables, lo que permitió formar subgrupos. En la región Grijalva del estado de Tabasco, existe variación ente las poblaciones locales de maíz.

Palabras clave: análisis multivariado, diversidad genética, maíz, México, *Zea mays*.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the diversity of maize landraces, which are cultivated in Grijalva region of the state of Tabasco, Mexico. The evaluation was conducted during the year 2011. Thirty eight maize landraces from nine municipalities of the Grijalva region were evaluated. Eighteen

morphological traits were recorded to assess the diversity among maize landraces. The principal component analysis defined that the most influential traits to explain the observed variation were: ear height, ear biomass, grain biomass in ear and grain number per ear. The graphic dispersion and population classification or clusters were determined by using the average linkage method and the correlation coefficient (rc) component criteria. Results showed five clusters with a 0.96 rc distance based on the populations typical phenotypic variability. A progressive and continuous differentiation of traits within each major group was detected. It is concluded that there is a wide variation among local maize landraces in Grijalva region of the state of Tabasco.

Key words: multivariate analysis, genetic diversity, maize, Mexico, local populations, *Zea mays*.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) se originó y diferenció en México, su diversificación en numerosas razas es testimonio de su distribución. En gran medida, la diversidad del maíz se puede atribuir a la selección practicada por los humanos desde su domesticación, a la diversidad de nichos ecológicos y a los efectos ambientales que cada condición climática ejerce sobre las poblaciones de maíz (Rocandio-Rodríguez *et al.*, 2014). Para entender su amplitud de adaptación ambiental y características morfológicas, las poblaciones de maíz se clasifican en razas (Rocandio-Rodríguez *et al.*, 2014), dicha clasificación fue planteada por Anderson y Cutler (1942), quienes señalaron que la clasificación del maíz debe realizarse integrando múltiples características, principalmente de tipo reproductivo, de la mazorca y del grano; también desarrollaron el concepto de raza, a la que definieron como un conjunto de individuos relacionados por sus características comunes, que permiten reconocerlos como un grupo. Bajo este enfoque la diversidad del maíz en México fue clasificada por Wellhausen

Introduction

Maize (*Zea mays* L.) originated and differentiated in Mexico, its diversification in different strains shows its distribution. The maize diversity can partly be attributed to the selection practiced by humans since their domestication, to the diversity of ecologic niches and the environmental effect of each climatic condition on the maize population (Rocandio-Rodríguez *et al.*, 2014). To understand its environmental adaptation range and the morphologic characteristics, the maize populations are classified in strains (Rocandio-Rodríguez *et al.*, 2014), such classification was posed by Anderson and Cutler (1942), who mentioned that the maize classification must be done integrating multiple characteristics, mainly related to the reproduction of the ear and the grain; they also developed the definition of strain, defining it is a group of individuals related by their common characteristics that allow to be recognized as a group. Under this approach, the maize diversity in Mexico was classified by Wellhausen *et al.* (1951) and is presented in a

et al. (1951), en lo que ha sido considerado una obra clásica en el tema. Para el ordenamiento de la diversidad se han realizado caracterizaciones con base en distintos atributos y para la clasificación se han aplicado varios métodos, entre los que destacan las técnicas multivariadas que permiten una interpretación más completa del fenómeno (Rocandio-Rodríguez *et al.*, 2014).

El Trópico Húmedo de México es la tercera región productora de maíz del país con el 29,6% de la producción nacional, en donde se siembran al año 2,75 millones de ha, de las cuales el 70% se siembran con maíces criollos (Sierra *et al.*, 2010). En el estado de Tabasco, México se siembran 75.752 ha con una producción de 117.534 toneladas (INEGI, 2011). En los maíces criollos sembrados en el estado se encuentran presente las razas Theua, Zapalote Grande, Olotillo, Tuxpeño, Vandeño, Tepecintle y combinaciones de ellas (Sierra *et al.*, 2010). De estas razas se tienen pocas accesiones resguardadas en los bancos de germoplasma, por ejemplo en el banco del CIMMYT, del estado de Tabasco solo se tienen 33 recolectas (Perales y Hernández-Casillas, 2005). Esto indica que la diversidad existente de maíz en el estado está poco estudiada, debido a que no se han realizado recolectas extensivas (Pecina-Martínez *et al.*, 2009).

La recolecta y el estudio de los maíces criollos mexicanos han sido motivados por diversas causas, entre las principales están: contar con fuentes de germoplasma para el mejoramiento genético, entender la agricultura mexicana de autoconsumo y sus cultivares en diferentes regiones del

masterpiece and a classic in this topic. For ordering the diversity, different classification have been carried out based on different attributes, and for performing the classification, different methods have been applied, among these are the multivariate techniques that allow a more complete interpretation of the phenomenon (Rocandio-Rodríguez *et al.*, 2014).

The humid tropic of Mexico is the third producing region of maize in the country, with 29.6% of the national production, where 2.75 millions of ha are produced per year out of which 70% is sowed with landrace maize (Sierra *et al.*, 2010). In the state of Tabasco, Mexico, are sowed 75.752 ha with a production of 117.534 tons (INEGI, 2011). Landrace maize cropped in the state are represented in the following strains Theua, Zapalote Grande, Olotillo, Tuxpeño, Vandeño, Tepecintle and combinations in between (Sierra *et al.*, 2010). Few assets of these strains are sheltered in the Germplasm banks, for instance, the CIMMYT bank in Tabasco State, only has 33 collections (Perales and Hernández-Casillas, 2005). This indicates that the diversity existent in maize in the state is little studied, since extensive collections have not been carried out (Pecina-Martínez *et al.*, 2009).

The collection and the research of Mexican landrace maize have been motivated by different causes, among which are: to have a germplasm source for the genetic improvement, to understand the Mexican agriculture of self-consumption and the cultivars in different regions of the country, and basic biologic studies to understand the

país, además de estudios biológicos básicos para entender el proceso de evolución del cultivo (Hernández y Esquivel, 2004). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar la variabilidad morfológica de maíces criollos de la región Grijalva del estado de Tabasco.

Materiales y métodos

Se estableció un ensayo de evaluación de 38 poblaciones de maíces criollos, recolectados en los campos de cultivo de los agricultores de la región Grijalva del estado de Tabasco, formada por 11 municipios que tienen una superficie de 11.978,31 km², que corresponde al 48,94% de la superficie del estado (SEDESPA, 2001). De octubre a diciembre de 2010, en la cosecha del ciclo primavera-verano se recolectaron 38 poblaciones de maíz criollo en los municipios de Cárdenas, Centro, Comalcalco, Cunducán, Huimanguillo, Jalapa, Jalpa de Méndez, Nacajuca, Tacotalpa y Teapa (figura 1). Para la recolecta se tomó una muestra entre 20 y 30 mazorcas de cada tipo de maíz reconocido como diferente por el agricultor.

La siembra de las recolectas se realizó en el Campo Agrícola Experimental de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, ubicado en el kilómetro 25+2 de la carretera Villahermosa-Teapa, del municipio de Centro, Tabasco, México (92°57'15" y 92°57'30" O y 17°47'30" y 17°47'15" N) a una altitud de 19,7 msnm. El suelo del área de estudio es luvisol crómico con clima Am(f) (i)g, precipitaciones abundantes en vera-

evolution process of the crop (Hernández and Esquivel, 2004). Because of the latter, the aim of this research was to determine the morphological variability of landrace maize in the Grijalva region of the state of Tabasco.

Materials and methods

An evaluation essay was established with 38 populations of landrace maize, collected in the cropping field of the agricultures in Grijalva region, state of Tabasco, formed by 11 municipalities with a surface of 11.978,31 km², that corresponds to 48.94% of the surface of the state (SEDESPA, 2001). From October to December 2010, in the crop corresponding to spring-summer 38 populations of landrace maize were collected in the municipalities of Cárdenas, Centro, Comalcalco, Cunducán, Huimanguillo, Jalapa, Jalpa of Méndez, Nacajuca, Tacotalpa and Teapa (figura 1). For the collection, a sample from 20 to 30 ears was taken of each type of maize recognized as different by the agriculture.

The sow of the collections was carried out at the Experimental Agriculture Field of the Academic Division of Livestock Sciences, Universidad Juárez Autónoma of Tabasco, located in kilometer 25+2 of Villahermosa-Teapa road, Centro parish, Tabasco, Mexico (92°57'15" and 92°57'30" W and 17°47'30" and 17°47'15" N) at an altitude of 19.7 masl. The soil of the area is chromic luvisol with weather Am(f) (i)g, abundant precipitations in summer, with an average of 2500 mm and mean

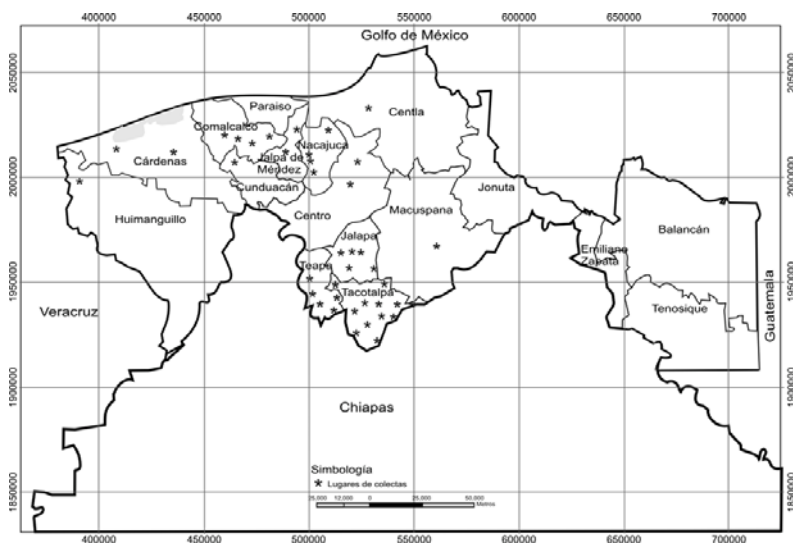


Figura 1. Ubicación de las 38 poblaciones de maíces nativos colectadas en el estado de Tabasco, México.

Figure 1. Location of 38 landrace maize populations collected in the state of Tabasco, Mexico.

no con promedio de 2500 mm y temperatura media de 25°C (García, 1981). Las 38 recolectas se sembraron el 15 de junio de 2011 de forma manual con macana o coa, forma tradicional de siembra de maíz en la región (Guillen-De La Cruz *et al.*, 2014). La parcela experimental de cada recolecta estuvo constituida por 12 surcos de 6 m de largo con separación de 0,30 m entre planta y de 0,80 m entre surco, para tener un total de 252 plantas por recolecta. La fertilización se realizó con la fórmula 120-60-60 (N-P-K). Se aplicó la mitad del N y K, y todo el P al momento de la siembra y la otra mitad del N y K se aplicó 30 días después de la siembra. El control de arvenses y cultivo se realizó de forma manual. Para el control del

temperature of 25°C (García, 1981). The 38 collections were sowed in June 15, 2011, manually with a baton, traditional way to sow maize in the region (Guillen-De La Cruz *et al.*, 2014). The experimental plot of each collection was constituted by 12 sorrows of 6 m of length with 0.30 m of separation between plants and 0.80 m among sorrows, for a total of 252 plants per collection. The fertilization was done with the 120-60-60 formula (N-P-K). The half of N and K was applied and all the content of P at the moment of sowing, and the remaining half of N and K was applied 30 days after sowing. The arvense control and the crop were done manually. For controlling the worm (*Spodoptera frugiperda*) Lorsban*480 EM was used

gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se utilizó Lorsban*480 EM (3,5,6-tricloro-2-piridinil) a la dosis de 0,75 L.ha⁻¹. El ensayo se condujo bajo condiciones de temporal durante todo el ciclo de cultivo.

Las variables medidas en cada una de las recolectas se dividieron en cuatro grupos: 1) variables vegetativas que se midieron en una muestra de 30 plantas por recolecta, las cuales fueron: altura de planta, altura de mazorca y longitud de espiga, en cm; diámetro de tallo, en mm y número de hojas; 2) variables agronómicas: días después de la siembra a floración masculina y floración femenina; y biomasa de olote, en g; 3) variables de la mazorca, medidas en una muestra de 30 mazorcas por recolecta: longitud de mazorca, en cm; biomasa de la mazorca y biomasa del grano en la mazorca, en g; número de hileras por mazorca; número de granos por hilera y número de granos por mazorca y 4) variables del grano, medidas en una muestra de 50 granos por recolecta: longitud de grano, ancho de grano y grosor de grano, en mm y biomasa de 100 granos, en g.

Las medias ajustadas de las variables evaluadas de cada recolecta se usaron para realizar un análisis de componentes principales (ACP). Para generar la matriz de disimilitud, se normalizaron y estandarizaron los promedios y se utilizó el complemento del coeficiente de correlaciones ($rc=1-r$) como coeficiente de disimilitud entre cada par de poblaciones. También se utilizó el método de agrupación jerárquica estratificada de los promedios de grupos para clasificar las recolectas, y para diferenciar y separar los grupos

(3,5,6-tricloro-2-piridinil) at the dose of 0.75 L.ha⁻¹. The essay was performed under heavy weather conditions during all the cropping cycle.

The variables measured in each of the collections were divided into four groups: 1) vegetative variables that measured in a sample of 30 plants per collection, which were: height of the plant, height of the ear and longitude of the ear in cm; stem diameter in mm and number of the leaves; 2) agronomic variables: days after the sow at masculine flowering and feminine flowering; biomass of the corncobs in g; 3) variables of the ear measured in a sample of 30 ears per collection: longitude of the ear in cm, biomass of the ear and biomass of the grain in the ear in g; number of rows per ear, number of grains per row and number of grains per ear; and 4) variables of the grain measured in a sample of 50 grams per collection, longitude of the grain, width of the grain and thickness of the grain in mm and biomass of 100 grains in g.

The adjusted means of the variables evaluated on each collection were used to perform an analysis of the main components (AMC). To generate the dissimilitude matrix, the averages were normalized and standardized, and the coefficient complement of correlations ($rc=1-r$) was used as dissimilitude coefficient among each pair of population. Also, the stratified hierarchical grouping method of the averages of groups was used to classify the collections and to differentiate and divide the groups and sub-groups more clearly as a dendrogram. The statistical analyses were done using the

y subgrupos con mayor claridad en forma de dendrograma. Los análisis estadísticos se realizaron con los procedimientos PRINCOMP, PLOT y CLUSTER de SAS 9.0. (Johnson, 2004).

Resultados y discusión

La variable vegetativa con mayor variación fue el diámetro del tallo con 13,37%. Entre las variables agronómicas la que presentó mayor variación fue la biomasa del olote (tusa) con 26,33%. En mazorca las variables con mayor variación fueron biomasa del grano en la mazorca (22,70%) y biomasa de la mazorca (22,10%). Mientras que en las variables de grano la mayor variación la presentó el biomasa de 100 granos con 12,58% (cuadro 1). Por la variabilidad encontrada se infirió que los agricultores de la región manejan una gran diversidad fenotípica en las poblaciones de maíz criollo que cultivaron (Ligarreto *et al.*, 1998), la cual podría atribuirse a factores tales como la selección practicada por el agricultor, el movimiento e intercambio de materiales y la recombinación con otras poblaciones, nativas y/o introducidas (Rocandio-Rodríguez *et al.*, 2014). Mientras que las variables que presentaron los coeficiente de variación menores fueron días a la floración masculina y femenina con 4,53% y 5,00%, respectivamente. Lo que indicó que fueron las variables de mayor estabilidad en los maíces criollos evaluados.

En las variables con mayor asociación (cuadro 2), se encontraron días a floración masculina y días a floración femenina ($r=0,97$); biomasa de la

procedures PRINCOMP, PLOT and CLUSTER of SAS 9.0. (Johnson, 2004).

Results and discussion

The vegetative variable with higher variation was the stem diameter with 13.37%. Among the agronomic variables, the one with higher variation was the biomass of the corncob with 26.33%. In the ear the variables with higher variation were biomass of the grain in the ear (22.70%) and biomass of the ear (22.10%). Meanwhile, in the variables of the grain the highest variation was observed in the biomass of 100 grains with 12.58% (table 1). Due to the variability found, it was inferred that the agricultures of the region handle a great phenotypic diversity in the population of landrace corn that cultivates (Ligarreto *et al.*, 1998), which might be attributed to factors such as the selection practiced by the agriculture, the movement and interchange of materials and the recombination with other populations, native and/or introduced (Rocandio-Rodríguez *et al.*, 2014). Meanwhile, the variables that presented the lowest variation coefficient were days to the masculine and feminine flowering with 4.53% and 5.00%, respectively. This indicated that these were the variables with more stability in the evaluated landrace maize.

In the variables with more association (table 2), were found days to masculine flowering and days to feminine flowering ($r=0.97$); biomass of the ear and biomass of the grain in the ear ($r=0.89$); biomass of the ear and

Cuadro 1. Parámetros estadísticos de 18 variables evaluadas a 38 poblaciones de maíz de la región Grijalva del Estado de Tabasco, México.

Table 1. Statistical parameters of 18 variables evaluated to 38 maize population of Grijalva, state of Tabasco, Mexico.

Variables	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	CV (%)
Altura de planta (cm)	226,40	25,47	200	286	11,25
Altura de la mazorca (cm)	110,10	13,22	99	162	12,00
Longitud de espiga (cm)	43,78	4,50	35,50	59,00	10,28
Diámetro de tallo (mm)	15,18	2,09	11,50	21,67	13,37
Número de hojas	12,92	0,94	11,00	15,00	7,28
			Agronómicas		
Días a floración masculina (dds)	65,42	2,92	60,00	74,00	4,53
Días a floración femenina (dds)	70,17	3,51	64,00	81,00	5,00
Biomasa de olote (g)	14,56	3,82	8,48	24,70	26,22
			Mazorca		
Longitud de mazorca (cm)	17,08	1,48	14,20	20,57	8,67
Biomasa de la mazorca (g)	164,28	36,30	109,00	222,00	22,10
Biomasa del grano en la mazorca (g)	131,08	29,75	78,60	191,60	22,70
Número de hileras por mazorca	11,75	1,26	9,00	14,00	10,72
Número de granos por hilera	36,50	3,55	28,00	43,00	9,73
Número de granos por mazorca	428,59	58,72	300,00	547,00	13,70
			Grano		
Longitud de grano (mm)	11,80	0,81	9,96	13,19	6,86
Ancho de grano (mm)	9,41	0,59	7,64	10,68	6,27
Grosor de grano (mm)	3,99	0,29	3,37	4,57	7,27
Biomasa de 100 granos (g)	31,07	3,91	23,30	37,60	12,58

CV=Coefficiente de variación, dds=días después de la siembra.

Cuadro 2. Resumen de las variables correlacionadas de 38 poblaciones de maíz de la región Grijalva del Estado de Tabasco, México.

Table 2. Summary of the variables correlated to 38 maize populations of Grijalva, state of Tabasco, Mexico.

Variables	Coefficiente de correlación (%)
Altura de planta - Altura de la mazorca	0,59**
Días a floración masculina - Días a floración femenina	0,97**
Biomasa de olote - Grosor de grano	0,70**
Biomasa d olote - Número de hileras	0,54**
Longitud de mazorca - Biomasa de mazorca	0,63**
Longitud de mazorca - Número de granos por mazorca	0,77**
Longitud de mazorca - Grosor de grano	0,43**
Longitud de mazorca - Biomasa del grano en la mazorca	0,53**
Longitud de mazorca - Biomasa de 100 granos	0,51**
Biomasa de la mazorca - Número de hileras	0,72**
Biomasa de la mazorca - Largo de grano	0,42**
Biomasa de la mazorca - Grosor de grano	0,50**
Biomasa de la mazorca - Biomasa del grano en la mazorca	0,89**
Biomasa de la mazorca - Biomasa de 100 granos	0,77**
Biomasa del grano en la mazorca - Número de granos por mazorca	0,76**
Biomasa del grano en la mazorca - Número de hileras	0,57**
Número de granos en la mazorca - Número de hileras	0,72**
Número de granos en la mazorca - Número de granos por hilera	0,62**

** P≤0.01

mazorca y biomasa del grano en la mazorca ($r=0,89$); biomasa de la mazorca y biomasa de 100 granos ($r=0,77$); longitud de mazorca y número de granos por mazorca ($r=0,77$); biomasa del grano en la mazorca y número de granos por mazorca ($r=0,76$), número de granos en la mazorca y número de hileras ($r=0,72$) y, biomasa de la mazorca y número de hileras ($r=0,72$). Correlaciones similares entre variables vegetativas, agronómicas, de mazorca y grano han sido reportadas por Ligarreto *et al.* (1998) y Ángeles-Gaspar *et al.* (2010). Al respecto Smith y Smith (1989) mencionaron que la correlación entre algunas variables se debió a que probablemente representaron diferentes vías para medir la misma variable, aunque también podría deberse a una relación estructural o del desarrollo, como por ejemplo, entre la altura de planta y la altura de mazorca. Al respecto, Falconer y Mackay (1996) señalaron que las variables correlacionadas fueron de interés por los cambios producidos por la selección artificial y natural, ya que estas correlaciones permitieron explicar el comportamiento de las poblaciones ya sea en forma aislada o en grupos, con base en los caracteres de mayor correlación.

El CP1 presentó asociación mayor con cuatro de las 18 variables, una de tipo vegetativo (altura de planta) y tres de la mazorca (número de granos en la mazorca, biomasa de la mazorca y biomasa del grano en la mazorca). En el CP2 las variables originales de mayor importancia fueron la altura de mazorca del grupo de variables vegetativas, biomasa de la mazorca y biomasa del grano en la

biomass of 100 grains ($r=0.77$); longitude of the ear and number of grains per ear ($r=0.77$); biomass of the grain in the ear and number of grains per ear ($r=0.76$); number of grains in the ear and number of rows ($r=0.72$) and, biomass of the ear and number of rows ($r=0.72$). Similar correlations among vegetative and agronomic variables have been reported in the ear and the grain by Ligarreto *et al.* (1998) and Ángeles-Gaspar *et al.* (2010). On this matter, Smith and Smith (1989) mentioned that the correlation among some variables was probably due to these represented different ways to measure the same variable, or also because it might be a structural or development relation; for instance, between the height of the plant and height of the ear. On this sense, Falconer and Mackay (1996) mentioned that the correlated variables were of interest due to the changes produced by the artificial and natural selection, since these correlations allowed explaining the behavior of the populations in both isolated or group, with based in the traits with higher correlation.

CP1 presented higher association with four of the 18 variables, one vegetative (height of the plant) and three ears (number of grains in the ear, biomass of the ear and biomass of the grain in the ear). In CP2, the original variables with more importance were the height of the ear of the vegetative cluster, biomass of the ear and biomass of the grain in the ear of the ear variables. CP3 was influenced by three variables, two of ears and one of the grain, there were: biomass of the ear, biomass of the grain in the ear and biomass of

mazorca de las variables de mazorca. El CP3 estuvo influenciado por tres variables, dos de mazorca y una de grano, mismas que fueron: biomasa de la mazorca, biomasa del grano en la mazorca y biomasa de 100 granos. En el CP4 las variables de mayor peso fueron cuatro, dos de tipo vegetativo y dos de mazorca, las cuales fueron: altura de planta, altura de mazorca, biomasa del grano en la mazorca y número de granos por hilera. En tanto que en el CP5, las variables de mayor peso fueron: altura de mazorca y biomasa de olote. Algunas de estas variables también han sido seleccionadas en otros estudios de diversidad morfológica de maíz (Nava y Mejía, 2002; Guillen-De La Cruz *et al.*, 2014), lo que confirmó su utilidad para medir o diferenciar la diversidad entre razas y entre poblaciones de maíz. En la literatura se menciona un grupo de variables apropiadas para la sistematización del maíz en razas (Wellhausen *et al.*, 1951); sin embargo, a medida que se profundizó en este tipo de estudios se observó que las variables morfológicas y agronómicas más apropiadas fueron diferentes para cada grupo de razas y tuvo que ser determinado para cada caso específico (Rocandio-Rodríguez *et al.*, 2014) (cuadro 3).

Con el ACP se simplificó la estructura de los datos sin obedecer a un modelo fijado *a priori* y fue posible explicar en pocos componentes la mayor parte de la información que contuvieron las variables (Cuadras, 2011). La descripción de la variabilidad morfológica a partir del ACP confirmó que hubo diversidad en las poblaciones de maíz. Con los dos primeros com-

100 grains. In CP4, the variables with higher weight were four, two vegetative and two of the ear, which were: height of the plant, height of the ear, biomass of the grain in the ear and number of grains per row. In CP5, the variables with higher weight were: height of the ear and biomass of the corncob. Some of these variables have also been selected in other researches of morphological diversity of maize (Nava and Mejía, 2002; Guillen-De La Cruz *et al.*, 2014), which confirmed its usefulness to measure or differentiate the diversity among strains and populations of maize. In the literature, a group of variables appropriate for the systematization of the maize in strain is mentioned (Wellhausen *et al.*, 1951); however, while deepening on this topic, it was observed that the most appropriate morphological and agronomic variables were different for each strain group and was determined for each specific case (Rocandio-Rodríguez *et al.*, 2014) (table 3).

With AMC the structure of the data simplified without obeying a fixed model *a priori* and it was possible to explain in few components most part of the information that included the variables (Cuadras, 2011). The description of the morphological variability after AMC confirmed that there was diversity in the population of maize. With the first two main components (MC) it was explained the 87.70% of the total variation determined by the 18 variables; when including the CP3 in an accumulate way, it was explained the 95.76% of the total variation of the original variables. Thus, with the first two MC was acceptable and enough to infer on

Cuadro 3. Vectores propios para los cinco primeros componentes principales y 18 variables originales medidas en la caracterización de 38 poblaciones de maíz de la región Grijalva del Estado de Tabasco, México.

Table 3. Own vectors for the five first main components and 18 original variables measured in the characterization of 38 maize population in Grijalva, state of Tabasco, Mexico.

Variable	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Altura de planta	0,1251*	0,8219	-0,4550*	0,1377*	-0,2635*
Altura de la mazorca	0,0731	0,2472*	-0,1833*	0,4691*	0,7940*
Longitud de espiga	-0,0011	0,0140	-0,0039	-0,1462*	-0,1527*
Diámetro de tallo	0,0061	0,0265	0,0214	-0,0425	-0,0480
Número de hojas	0,0019	-0,0063	-0,0012	-0,013	-0,0328
Días a floración masculina	0,0087	0,0079	0,0282	0,0165	0,0189
Días a floración femenina	0,0096	-0,0001	0,0292	0,0058	0,0133
Biomasa de olote	0,0128	-0,0297	0,0037	-0,1534*	0,1938*
Longitud de mazorca	0,0118	-0,0151	0,0233	0,0106	-0,0539
Biomasa de la mazorca	0,4543*	0,2736*	0,5747*	-0,5015*	0,3015
Biomasa del grano en la mazorca	0,3666*	0,1784*	0,4521*	0,6682*	-0,3704*
Número de hileras por mazorca	0,0130	-0,0002	0,0007	-0,0363	0,0161
Número de granos por hilera	0,0276	-0,0353	-0,0389	0,1071*	-0,0518
Número de granos por mazorca	0,7973*	-0,3894*	-0,4519*	-0,0434	-0,0331
Longitud de grano	0,0052	0,0044	0,0045	0,0168	-0,0337
Ancho de grano	-0,0006	-0,0005	0,0131	-0,0115	-0,0009
Grosor de grano	0,0012	0,0004	0,0056	-0,0048	0,0057
biomasa de 100 granos	0,0287	0,0401	0,1207*	0,0006	-0,0422

*=Variable que explica mayor variación.

ponentes principales (CP) se explicó el 87,70% de la variación total determinada por las 18 variables, al incluir el CP3 en forma acumulada, se explicó el 95,76% de la variación total de las variables originales. Por lo que con los dos primeros CP fue bastante aceptable y suficiente para hacer inferencias sobre el comportamiento de las recolectas evaluadas (cuadro 4).

A partir del ACP de los promedios de 18 variables de los 38 maíces criollos evaluados y de la dispersión de las poblaciones sobre el plano de los dos primeros CP, se apreció la separación de cinco grupos. La asociación entre poblaciones inició a una distancia r_c de 0,39 y se intensificó rápidamente hasta el valor de 0,50 para dejar diferenciados cinco grupos a una distancia r_c de 0,96 (figura 2). Los agrupamientos de este nivel permitieron observar una diferenciación adecuada de las poblaciones, para finalmente quedar integrados tres grupos a una distancia de 1,06. A distancias más cortas también se observaron subgrupos bien definidos, que podrían utilizarse para lograr mayor grado de precisión en la agrupación o explicación de las relaciones de parentesco de las poblaciones; en estos subgrupos los niveles de parentesco fueron más estrechos, lo que sugirió que fueron poblaciones provenientes de la misma fuente de germoplasma. Como ejemplo se señaló las poblaciones 34 y 9 que integraron el grupo 1 que provinieron de la subregión Chontalpa del estado de Tabasco (Nava y Mejía, 2002); aunque se desconoció la raza principal a la que pertenecieron se infirió que fueron parte del mismo germoplasma.

the behavior of the evaluated collections (table 4).

After the AMC of the average of 18 variables of 38 landrace maize evaluated and the dispersion of the population on the first two MC, the separation of five groups was observed. The association among populations started at a r_c distance of 0.39 and intensified rapidly until 0.50 to differentiate five groups at a r_c distance of 0.96 (figure 2). Clusters at this level allowed observing an adequate differentiation of the populations, until remaining integrated into three groups at a distance of 1.06. At shorter distance was also observed well-defined sub-groups that might be used to achieve a higher accuracy level in the grouping or as an explanation to explain the relationship of the populations; in these sub-groups the kinship levels were closer, which suggested that these were populations coming from the same germplasm source. As an example, populations 34 and 9 were mentioned, that formed cluster 1 and came from the sub-region Chontalpa, state of Tabasco (Nava and Mejía, 2002); the main strain that they belonged to was unknown, though; thus, it was inferred that were part of the same germplasm.

The phenotypic variation of the five groups (table 5) and the resulting clusters evidenced that the height of the plant, height of the ear, longitude of the ear, total number of leaves, biomass of the ear and number of grains per ear presented a great variation with the clusters observed in the dendrogram. Clusters I, II, III, IV and V were formed with 3, 19, 13, 2 and 1 populations, respectively, which

Cuadro 4. Valores característicos, proporción de la varianza por componentes principales y proporción total acumulada del análisis de 18 variables en 38 poblaciones de maíz de la región Grijalva del Estado de Tabasco, México.

Table 4. Characteristic values, variance proportion by main components and total accumulated proportion of 18 variables in 38 maize populations in Grijalva, state of Tabasco, Mexico.

Componente principal	Valor propio	Valor propio acumulado	Proporción de la varianza total explicada (%)	
			Absoluta	Acumulada
CP 1	5093,45	5093,45	0,7754	0,7754
CP 2	667,16	5760,61	0,1016	0,8770
CP 3	529,04	6289,65	0,0805	0,9576
CP4	129,44	6419,09	0,0197	0,9773
CP5	94,65	6513,74	0,0144	0,9917

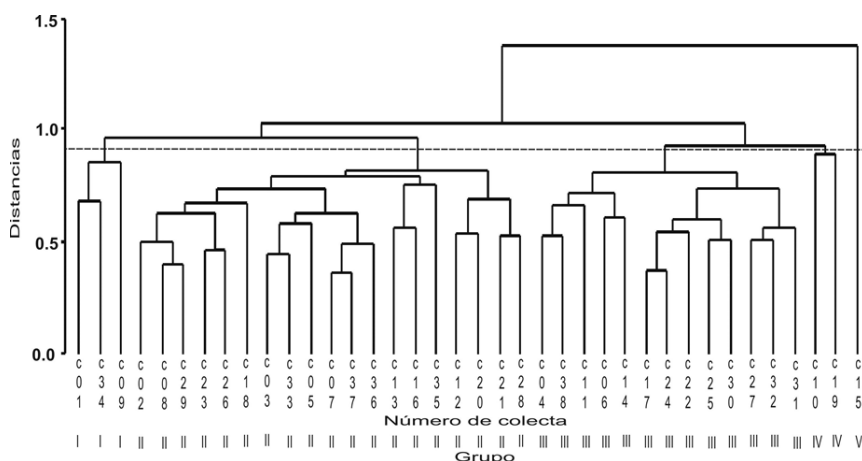


Figura 2. Dendrograma de los dos primeros componentes principales estandarizados usando el complemento de coeficientes de correlación como medida de disimilitud, obtenido de 38 poblaciones de maíz de la región Grijalva del Estado de Tabasco, México.

Figure 2. Dendrogram of the first two main standardized components using the correlation coefficient complement as a dissimilitude measure, obtained from 38 maize populations in Grijalva, state of Tabasco, Mexico.

La variación fenotípica de los cinco grupos (cuadro 5) y los agrupamientos resultantes evidenciaron que la altura de planta, altura de la mazorca, longitud de espiga, número total de hojas, biomasa de la mazorca y número de granos por mazorca presentaron una gran variación, con los agrupamientos observados en el dendrograma. Los grupos I, II, III, IV y V se formaron con 3, 19, 13, 2 y 1 poblaciones, respectivamente, las cuales se describieron con base en las variables que contribuyeron más a la variabilidad.

El grupo I, se formó por tres poblaciones provenientes de los municipios de Centro, Huimanguillo y Comalcalco, y se caracterizó por tener la mayor altura de planta (279,00 cm), longitud de grano (12,42 mm) y los valores menores de longitud de espiga (40,53 cm), pocas hojas (11,89 g) y grano delgado (3,75 mm) (cuadro 5). En general, estas plantas fueron de ciclo intermedio, vigorosas y con mazorcas largas.

El grupo II se formó con 19 recolectas, de las cuales ocho fueron del municipio de Tacotalpa, tres del municipio de Teapa, dos del municipio de Nacajuca y una de los municipios de Centro, Jalpa de Méndez, Cárdenas y Cunduacán; entre sus características distintivas se encontraron las siguientes: plantas de floración intermedia, con altos valores de biomasa de olote (16,39 g), biomasa de la mazorca (187,02 g), longitud de grano (11,95 mm) y biomasa de 100 granos (33,29 g). La descripción racial de este grupo fue Tuxpeño-Olotillo, debido a que la recolecta 35 del municipio de Tacotalpa fue descrita previamente (Sierra *et al.*, 2010).

were described based on the variables that mostly contributed to the variability.

Cluster I was formed by three populations coming from municipalities of Centro, Huimanguillo and Comalcalco, and characterized by having the highest height of the plant (279.00 cm), longitude of the grain (12.42 mm) and the lowest values of the longitude of the ear (40.53 cm), few leaves (11.89 g) and thin grain (3.75 mm) (table 5). In general, these plants had an intermediate cycle, were vigorous and presented long ears. Cluster II formed with 19 collections, eight out of which came from Tacotalpa parish, three from Teapa, two from Nacajuca municipality and one from municipalities Centro, Jalpa de Méndez, Cárdenas and Cunduacán; among their distinctive characteristics are: plants with intermediate flowering with high biomass values of the corncob (16.39 g), biomass of the ear (187.02 g), longitude of the grain (11.95 mm) and biomass of 100 grains (33.29 g). The strain description of this cluster was Tuxpeño-Olotillo, since the collection 35 of Tacotalpa was previously described (Sierra *et al.*, 2010).

Cluster III was constituted by 13 collections, three from municipalities of Tacotalpa and Comalcalco, and two from Teapa, Jalapa and Nacajuca and one from Jalpa de Méndez. Out of the thirteen collections seven were performed in the sub-region Sierra and six in the sub-region Chontalpa. These collections presented the lowest values of the height of the plant (217.46 cm), height of the ear (104.54 cm), diameter

Cuadro 5. Promedio por grupo de los cinco obtenidos con el análisis de conglomerados para las 38 poblaciones de maíz de la región Grijalva del Estado de Tabasco, México.

Table 5. Cluster average of the five obtained with the cluster analyses for 38 maize populations of Grijalva, state of Tabasco, Mexico.

Variable	Grupo				
	I	II	III	IV	V
Altura de planta (cm)	279,00	221,21	217,46	239,50	251,00
Altura de la mazorca	124,33	108,16	104,54	130,00	130,00
Longitud de espiga	40,53	43,37	43,53	55,00	43,50
Diámetro de tallo	16,06	15,24	14,99	16,75	18,00
Número de hojas	11,89	12,89	13,01	14,50	15,00
Días a floración masculina	64,67	65,52	65,28	61,75	73,50
Días a floración femenina	68,53	70,24	70,08	67,25	81,00
Biomasa de olote	12,54	16,39	12,64	10,37	16,68
Longitud de mazorca	17,02	17,87	15,67	17,40	18,60
Biomasa de la mazorca	185,22	187,02	121,18	149,05	222,00
Biomasa del grano en la mazorca	147,83	146,14	100,57	116,15	191,60
Número de hileras por mazorca	12,07	12,39	10,82	10,50	13,20
Número de granos por hilera	39,26	36,67	34,72	38,60	41,60
Número de granos por mazorca	472,70	453,82	374,12	406,00	546,80
Longitud de grano	12,42	11,95	11,35	12,13	10,98
Ancho de grano	9,17	9,66	9,20	9,70	7,64
Grosor de grano	3,75	4,13	3,84	3,75	4,57
biomasa de 100 granos	30,44	33,29	27,68	30,40	33,80

El grupo III estuvo constituido por 13 recolectas, tres de los municipios de Tacotalpa y Comalcalco, dos en Teapa, Jalapa y Nacajuca y una en Jalpa de Méndez. De las 13 recolectas siete se realizaron en la subregión Sierrita y seis en la subregión Chontalpa. Estas recolectas presentaron los menores valores de altura de planta (217,46 cm), altura de mazorca (104,54 cm), diámetro de tallo (14,99 mm), longitud de mazorca (15,67 cm), biomasa de la mazorca (121,18 g), biomasa del grano en la mazorca (100,57 g), número de granos por hilera (34,72), número de granos por mazorca (374,12) y biomasa de 100 granos (27,68 g).

Los grupos IV y V se formaron con dos y una recolecta, respectivamente. Las recolectas del grupo IV provinieron de los municipios de Cárdenas y Jalapa; el grupo se caracterizó por tener las recolectas más precoces con 61,75 días a floración masculina y 67,25 días a floración femenina, la mayor longitud de espiga (55 cm) y ancho de grano (9,70 mm), con los menores valores en biomasa de olote (10,37 g), número de hileras por mazorca (10,50) y grosor de grano (3,75 mm). En tanto que el Grupo V estuvo formado por una recolecta del municipio de Jalapa que presentó los mayores valores de biomasa del grano en la mazorca (191,60 g), biomasa de la mazorca (222 g), diámetro de tallo (18 mm), número de hojas (15), número de hileras por mazorca (13,20), número de granos por hilera (41,60), número de granos por mazorca (546,80) y biomasa de 100 granos (33,80 g).

En general las variables de mazorca fueron las que en mayor mag-

of the stem (14.99 mm), longitude of the ear (15.67 cm), biomass of the ear (121.18 g), biomass of the grain in the ear (100.57 g), number of grains per row (34.72), number of grains per ear (374.12) and biomass of 100 grains (27.68 g).

Clusters IV and V formed with two and one collection, respectively. The collections of the group IV came from municipalities of Cárdenas and Jalapa, the cluster characterized by having the earliest collects with 61.75 masculine flowering and 67.25 feminine flowering, the highest longitude of the ear (55 cm) and width of the grain (9.70 mm), with the lowest values in the corncob biomass (10.37 g), number of rows per ear (10.50) and thickness of the grain (3.75 mm). Regarding cluster V, it was formed by a collection from Jalapa municipality, with the highest biomass values of the maize grain (191.60 g), ear biomass (222 g), stem diameter (18 mm), number of leaves (15), number of rows per ear (13.20), number of grains per row (41.60), number of grains per ear (546.80) and biomass of 100 grains (33.80 g).

In general, the variables of the ear were the ones with more influence in magnitude in the differentiation of landrace maize in the Grijalva region, state of Tabasco. This agreed to Aguilar-Castillo *et al.* (2006), Guillen-De La Cruz *et al.* (2014) y Rocandio-Rodríguez *et al.* (2014) who found that to determine the phenotypic diversity in maize, the ear variables were the ones with more magnitude. The lack of coincidence of the formed clusters with the collecting municipalities might have been due to the fact that

nidad influyeron en la diferenciación de los maíces criollos de la región Grijalva del Estado de Tabasco. Lo que coincidió con Aguilar-Castillo *et al.* (2006), Guillen-De La Cruz *et al.* (2014) y Rocandio-Rodríguez *et al.* (2014) quienes encontraron que para determinar la diversidad fenotípica en maíz, las variables de mazorca fueron las de mayor magnitud. La falta de coincidencia de los grupos formados con los municipios de recolecta podría deberse al hecho de que los agricultores por lo general intercambiaron semilla entre ellos (Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010). Al respecto, Santa *et al.* (2008) mencionaron que el lugar de procedencia no constituyó un criterio importante de agrupamiento en maíces criollos.

Conclusiones

En la región Grijalva del estado de Tabasco, México, existe variabilidad morfológica en las recolectas de maíces criollos estudiados. Esta variación puede agruparse mediante la altura de planta, la altura de mazorca, la biomasa de la mazorca, la biomasa del grano en la mazorca y el número de granos por mazorca. Con estas variables se identificaron cinco grupos de maíces criollos a una distancia rc de 0,96, de los cinco grupos detectados, solo el grupo II se identificó como maíces criollos que en su composición genética tienen característica de las razas Tuxpeño y Olotillo. Al interior de los grupos, se detectó una diferencia gradual y continua en las variables evaluadas, lo que permitió formar subgrupos.

the agricultures generally interchange seeds among them (Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010). On this sense, Santa *et al.* (2008) mentioned that the origin time did not constitute an important clustering criterion in landrace maize.

Conclusions

There is morphological variability in Grijalva, Tabasco state, Mexico, in the collection of the studied landrace maize. This variation might group with the height of the plant, height of the ear, biomass of the ear, biomass of the grain in the ear and the number of grains per ear. With these variables, five groups of landrace maize were identified at a rc distance of 0.96, out of the five clusters detected, only cluster II identified as landrace maize, with genetic composition with characteristics of the strains Tuxpeño and Olotillo. In the interior of these clusters, a gradual and continuous difference was detected in the evaluated variables, which allowed forming subgroups.

End of english version

Literatura citada

Aguilar-Castillo, J.A., A. Carballo-Carballo, F. Castillo-González, A. Santracruz-Varela, J.A. Mejía-Contreras, J. Crossa-Hirriarte, G. Baca-Castillo. 2006. Diversidad fenotípica y variantes distintivas de la raza Jala de maíz. *Agricultura Técnica en México* 32:57-66.

- Anderson, E., H.C. Cutler. 1942. Races of *Zea mays*: I. Their recognition and classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 29:69-89.
- Ángeles-Gaspar, E., E. Ortiz-Torres, P.A. López, G. López-Romero. 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:287-296.
- Cuadras, C.M. 2011. Nuevos métodos de análisis multivariante. CMC Editions. Barcelona, España. 285p.
- Falconer, D.S., T.F.C. Mackay. 1996. *Introduction to quantitative genetics*. Fourth Edition. Pearson Education Limited. Edinburgh, England. 464p.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema climático de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. 246p.
- Guillen-De La Cruz, P., E. De La Cruz-Lázaro, S.A. Rodríguez-Herrera, G. Castañón-Nájera, A. Gómez-Vázquez, A.J. Lozano-del Río. 2014. Diversidad morfológica de poblaciones de maíces nativos (*Zea mays* L.) del Estado de Tabasco, México. *Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Cuyo* 46: 239-247.
- Hernández, C.J.M., E.G. Esquivel. 2004. Rendimiento de grano y características agronómicas en germoplasma de maíz de Valles altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27 (Núm. Especial 1): 27-31.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2011. *Anuario de estadísticas por entidad federativa 2011*. INEGI-Aguascalientes. Aguascalientes, México. 596 p.
- Johnson, D.E. 2004. Métodos multivariados aplicados al análisis estadístico. International Thomson Editores. México. 566 p.
- Ligarreto, M.G., P.A. Ballen, B.D. Huerta. 1998. Evaluación de las características cuantitativas de 25 accesiones de maíz (*Zea mays* L.) de la zona andina. *Revista Corpoica* 2:1-5.
- Nava, P.F., C.J.A. Mejía. 2002. Evaluación de maíces precoces e intermedios en Valles Altos Centrales de México. II. Divergencia genética. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25:187-192.
- Pecina-Martínez, J.A., M.C. Mendoza-Castillo, J.A. López-Santillán, F. Castillo-González, M. Mendoza-Rodríguez. 2009. Respuesta morfológica y fenológica de maíces nativos de Tamaulipas a ambientes contrastantes de México. *Agrociencia* 43:681-694.
- Perales, R.H., J.M. Hernández-Castillas. 2005. Diversidad del maíz en Chiapas. pp. 337-355. En: González-Espinoza, M., Ramírez-Marcial, N., Ruiz-Montoya, L. (Eds.). *Diversidad biológica de Chiapas*. Plaza y Valdés/ECOSUR/COCYTECH. México, D.F.
- Rocandio-Rodríguez, M., A. Santacruz-Varela, L. Córdova-Téllez, H. López-Sánchez, F. Castillo-González, R. Lobato-Ortiz, J.J. García-Zavala, R. Ortega-Paczka, R. 2014. Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de Valler Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:351-361.
- Santa, R.R.H., M.A. Gil, V.A. Santacruz, C.S. Miranda, T.L. Córdova. 2008. Diversidad morfológica de maíces nativos del Valle de Puebla. *Agricultura Técnica en México* 34:189-200.
- SEDESPA (Secretaría de Desarrollo Social y Protección al Ambiente). 2001. *Atlas del Estado de Tabasco*. Gobierno del Estado. Disponible en: <http://www.tabasco.gob.mx/estado/geo-regiones.php>.
- Sierra, M.M., F.S. Barrón, C.A. Palafox, M.I. Meneses, N.N. Francisco, M.F. Rodríguez, C.J.M. Hernández, C.A. Ortega. 2010. Diversidad y distribución de variedades criollas de maíz en el Estado de Tabasco, México. pp: 57-64. En: *Memorias XXII Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Tabasco 2010*. Castañeda, M.O.G., Báez R.U.A., López, A.N.C., Sánchez, D.D.C. (Eds.). Villahermosa, Tabasco.

Smith, J.S., O.S. Smith. 1989. The description and assessment of distance between inbred lines of maize: I. The use of morphological traits as descriptors. *Maydica* 34:141-150.

Wellhausen, E.J., L.M. Roberts, X.E. Hernández, P.C. Mangelsdorf. 1951. Razas de maíz en México. Folleto Técnico 5. Oficina de Estudios Especiales. S.A.G., México. 239 p.