



Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

ISSN: 2007-0934

revista_atm@yahoo.com.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Ruiz Corral, José Ariel; Sánchez González, José de Jesús; Hernández Casillas, Juan Manuel; Willcox, Martha C.; Ramírez Ojeda, Gabriela; Ramírez Díaz, José Luis; González Eguiarte, Diego Raymundo
Identificación de razas mexicanas de maíz adaptadas a condiciones deficientes de humedad mediante
datos biogeográficos

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 4, núm. 6, 2013, pp. 829-842

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Estado de México, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263128354001>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Identificación de razas mexicanas de maíz adaptadas a condiciones deficientes de humedad mediante datos biogeográficos*

Identification of Mexican maize races adapted to moisture deficient conditions using biogeographical data

José Ariel Ruiz Corral¹, José de Jesús Sánchez González², Juan Manuel Hernández Casillas³, Martha C. Willcox⁴, Gabriela Ramírez Ojeda¹, José Luis Ramírez Díaz¹ y Diego Raymundo González Eguiarte²

¹Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco- INIFAP. Carretera libre Tepatitlán-Lagos de Moreno, km 8. 47600 Tepatitlán, Jalisco, México, Tel: 33-36413575. Ext. 114. ²Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. Carretera Guadalajara-Nogales, km 15.5 Zapopan, Jalisco. México. Tel. 33-37771150. Ext. 33190. ³Campo Experimental Valle de México, INIFAP. Carretera Los Reyes- Texcoco, km. 13.5, 56230 Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. Tel. 59-59212698. ⁴CIMMYT. A. P. 6-641, 06600 México, D. F. Tel. 59-58042004. Ext. 1251. ⁵Autor para correspondencia. ruiz.ariel@inifap.gob.mx.

Resumen

Se trabajó con una base de datos de accesiones recientes de 54 razas de maíz de México, cuyos datos pasaporte se extrajeron de la Unidad de Recursos Genéticos del Banco de Germoplasma del INIFAP. A partir de las coordenadas geográficas de las accesiones, se hizo una caracterización por sitios de acesión, de las condiciones de disponibilidad de humedad del período mayo-octubre para el desarrollo del maíz, con base en el sistema de información ambiental del INIFAP y el sistema IDRISI Andes. Con estos datos se realizó un análisis estadístico que incluyó análisis de varianza y un análisis de taxonomía numérica (análisis cluster) con la opción de correlación de momento producto entre razas. Adicionalmente se realizó un análisis de accesiones por raza para identificar las accesiones que desarrollan bajo ambientes con deficiencia de humedad. Se seleccionaron las accesiones con adaptación a un ambiente con índice de humedad (IH) (precipitación/evapotranspiración potencial) mayo-octubre inferior a 0.5. Los resultados mostraron la identificación de cinco grupos raciales, de los cuales uno de ellos se destacó por su adaptación a un IH entre 0.39 y 0.53. Este grupo incluyó las razas Chapalote, Dulcillo del Noroeste, Tuxpeño Norteño, Cónico Norteño, Tablilla

Abstract

We worked with a database of recent accessions of 54 races of maize from Mexico, whose passport details were extracted from the Genetic Resource Unit from INIFAP's Germplasm Bank. From the geographical coordinates of the accessions, was made an accession characterization by site, conditions of moisture availability for the period from May to October for the development of maize, based on the environmental information system from INIFAP and the IDRISI Andes system. With these data, a statistical analysis was made that included an analysis of variance and analysis of numerical taxonomy (cluster analysis) with the product moment correlation between races. Additionally was performed an accessions analysis by race to identify the accessions that developed under moisture-deficient environments. Accessions were selected with adaptation to an environment with humidity index (IH) (precipitation / potential evapotranspiration) from May to October less than 0.5. The results showed the identification of five racial groups, of which one of them stood out for its adaptation to an HI between 0.39 and 0.53. This group included Chapalote, Dulcillo Northwest, Tuxpeño Norteño, Conical Norteño, Tablilla of Ocho and

* Recibido: enero de 2013
Aceptado: junio de 2013

de Ocho y Gordo. El análisis de accesiones reportó la presencia de maíz en un total de 677 sitios con condiciones de semiaridez en la temporada mayo-octubre. Las 677 accesiones representan a 24 razas. Éstos resultados permiten concluir que en México existen recursos genéticos, relacionados con las razas de maíz, los cuales podrían ser de utilidad en los programas de mejoramiento genético de maíz enfocados a la adaptación a estrés por sequía.

Palabras clave: adaptación a sequía, cambio climático, razas de maíz, recursos genéticos.

Introducción

La presencia del cambio climático se ha manifestado de forma más evidente desde la última década del Siglo XX (Zarazúa, 2011), período durante el cual comenzaron a intensificarse fenómenos meteorológicos adversos para la agricultura, tales como la sequía. Esta situación ha incrementado la vulnerabilidad de los cultivos en México, entre ellos el maíz, el cual es el de mayor importancia económica (SIAP, 2010). En México, para la década de 2051-2060, se espera que la temperatura media mayo-octubre se incremente en promedio 1.9, 1.9, 2.0, 1.9 y 1.8 °C en las zonas maiceras tropicales, subtropicales, transicionales de altura, valles altos y valles muy altos, respectivamente, lo cual incrementará la evapotranspiración potencial (ETP) 5.5, 5.9, 6.1, 6.8, y 7.5%. Paralelamente se espera que la precipitación en estas regiones disminuya en promedio 4.4, 3.8, 4.1, 4.5 y 4.4%.

Éstos valores se traducirán en un balance hídrico menos favorable para el cultivo del maíz, en las diferentes regiones productoras (Ruiz *et al.*, 2011a). En la actualidad, la escasez de agua para cultivos constituye una de las principales preocupaciones y retos para los tomadores de decisiones del sector productivo; el problema es complejo y requiere abordarse desde diferentes ángulos. Una de las alternativas que podrían coadyuvar para lograr sistemas agrícolas sostenibles bajo este contexto hídrico adverso, es la utilización de genotipos de plantas adaptables a condiciones de humedad deficiente (Márquez *et al.*, 2009). De acuerdo con diversas investigaciones, se sabe que con frecuencia las razas de maíz poseen una mejor adaptación específica a ciertas condiciones locales que las variedades mejoradas (Smith *et al.*, 2001). Estas diferencias se acentúan en ambientes desfavorables, por lo que es de esperarse que las razas de maíz (Ruiz *et al.*, 2008) así como sus parientes

Gordo races. Accessions analysis reported the presence of maize in a total of 677 sites with semi-arid conditions in the May-October season. The 677 accessions represent 24 races. These results suggest that in Mexico there are genetic resources, related to the races of maize, which could be useful in breeding programs aimed to maize adaptation to drought stress.

Key words: drought adaptation, climate change, maize races, genetic resources.

Introduction

The presence of climate change has manifested itself more clearly in the last decade of the twentieth century (Zarazúa, 2011), period in which began to intensify adverse weather conditions for agriculture, such as drought. This situation has increased the vulnerability of crops in Mexico, including maize, which is the most economically important (SIAP, 2010). In Mexico, for the decade of 2051-2060, is expected that the average temperature from May to October is going to increase on average 1.9, 1.9, 2.0, 1.9 and 1.8 °C in the tropical, subtropical, transitional high, high valleys and very high valleys, maize growing areas respectively, which will increase the potential evapotranspiration (ETP) 5.5, 5.9, 6.1, 6.8, and 7.5%. Also on these regions precipitation is expected to decrease on average 4.4, 3.8, 4.1, 4.5 and 4.4%.

These values will result in a less favorable water balance for maize cultivation in different regions (Ruiz *et al.*, 2011a). At present, crop water scarcity is one of the key concerns and challenges for decision makers in the manufacturing sector; the problem is complex and is necessary to approach it from different angles. One alternative that could contribute to achieve sustainable agricultural systems under this adverse water context is the use of plant genotypes adapted to low moisture conditions (Marquez *et al.*, 2009). According to several studies, often known maize races possess a better specific adaptation to certain local conditions than improved varieties (Smith *et al.*, 2001). These differences are accentuated in unfavorable environments, so it is expected that the maize races (Ruiz *et al.*, 2008) and their wild relatives (Sánchez *et al.*, 2011) provide genetic diversity related to adaptation to environmental conditions, including drought (Ruiz *et al.*, 2011b). Especially in centers of origin and crop diversity, as

silvestres (Sánchez *et al.*, 2011) aporten diversidad genética relacionada con adaptación a condiciones de estrés ambiental, incluyendo condiciones de sequía (Ruiz *et al.*, 2011b). Especialmente en centros de origen y diversidad de los cultivos, como lo es México para el maíz, se cree que las razas conservadas *in situ* son más rústicas y tolerarán y se adaptarán mejor al cambio climático (Mercer y Perales, 2010).

El maíz se ha expandido geográficamente, cultivándose bajo un amplio rango de condiciones agroclimáticas (Ruiz *et al.*, 2008) y sometándose a un proceso de selección natural. Debido a una estructura genómica única y al proceso de selección humana continua, el maíz es una de las especies más plásticas en términos de su adaptación ambiental, capaz de desarrollarse a altas y bajas altitudes, y en climas tropicales, subtropicales y templados (Hayano *et al.*, 2009). La variabilidad genética del maíz ha sido explotada para producir cultivares de maíz tolerantes a sequía para el trópico seco de Indonesia, Kenya, México y Colombia (Pingali *et al.*, 2001). De acuerdo con lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue identificar razas y accesiones mexicanas de maíz con adaptación a condiciones deficientes de humedad, mediante un análisis de datos biogeográficos.

Materiales y métodos

Bases de datos

Se utilizaron los datos de pasaporte de 6 600 accesiones colectadas entre 2007 y 2009 y reportadas en la base de datos generada por los proyectos CONABIO-INIFAP FZ001, FZ002, FZ003, FZ016 y FZ023 (INIFAP, 2011); dichas accesiones están clasificadas en 54 razas mexicanas de maíz. La razón de utilizar esta base de datos es debido a que las accesiones referidas representan a las variedades de maíz sembradas en la actualidad por los productores de México y a que se dispone de semilla en el Banco de Germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Para cada accesión se recuperó la información de coordenadas geográficas y altitud del sitio de colecta, además de la base de datos completa incluida en el Banco de Germoplasma de Maíz del INIFAP. En el Cuadro 1 se muestra el total de accesiones por raza consideradas en el presente estudio.

is Mexico for maize, it is believed that the races preserved *in situ* are more rustic that tolerate and will adapt better to climate change (Mercer and Perales, 2010).

Maize has expanded geographically, being cultivated under a wide range of agro climatic conditions (Ruiz *et al.*, 2008) and undergoing a process of natural selection. Due to a unique genomic structure and to continuous human selection process, maize is one of the most plastic species in terms of environmental adaptation, able to grow at high and low altitudes, in tropical, subtropical and temperate climates (Hayano *et al.*, 2009). Genetic variability of maize has been exploited to produce cultivars of maize tolerant to drought for the dry tropics of Indonesia, Kenya, Mexico and Colombia (Pingali *et al.*, 2001). Accordingly, the objective of this study was to identify races and Mexican corn accessions with adaptation to moisture deficient conditions by analyzing biogeographical data.

Materials and methods

Databases

Data passport from 6 600 accessions collected between 2007 and 2009 and reported in the database generated by the projects CONABIO-INIFAP FZ001, FZ002, FZ003, FZ016 and FZ023 (INIFAP, 2011) was used; these accessions are classified into 54 Mexican maize races. The reason for using this database is because the accessions referred represent corn varieties currently planted by the producers of Mexico and that there is availability of it at the Germplasm Bank from the National Institute of Research for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP). For each accession was recovered the information from geographic coordinates and altitude of the collection site, in addition to the complete database included in the Maize Germplasm Bank from INIFAP. Table 1 shows the total number of accessions by race considered in this study.

Climate characterization from the accession sites

From the geographical coordinates of the collection sites was generated a vector and a raster file, through which and making use of the GIS module from the IDRISI Andes system (Eastman, 2006), was extracted timely

Cuadro 1. Número de accesiones por raza.**Table 1. Number of accessions by race.**

Raza	Accesiones	Raza	Accesiones	Raza	Accesiones
Ancho	239	Cristalino de Chihuahua	66	Pepitilla	163
Apachito	43	Cubano Amarillo	12	Purépecha	54
Arrocillo	103			Ratón	271
Azul	52	Dulcillo del Noroeste	4	Reventador	55
Blando de Sonora	12	Dzit Bacal	22	Serrano de Jalisco	6
Bofo	6	Elotero de Sinaloa	76	Tablilla de Ocho	10
Bolita	72	Elotes Cónicos	375	Tabloncillo	290
Cacahuacintle	46	Elotes Occidentales	328	Tabloncillo Perla	32
Celaya	287	Gordo	38	Tamaulipas	60
Chalqueño	250	Maíz amarillo de Tierra Caliente	6	Tehuá	36
Chapalote	10	Maíz Dulce	25	Tepecintle	99
Chiquito	7	Maíz Prieto de Tierra Caliente	26	Tsiri-Charápit	30
Comiteco	151	Mushito de Michoacán	67	Tuxpeño	1088
Complejo Cónico	34	Nal-Tel	17	Tuxpeño Norteño	73
Conejo	68	Nal-Tel de Altura	5	Vandeno	254
Cónico	620	Olotillo	367	Zamorano Amarillo	16
Cónico Norteño	511	Olotón	83	Zapalote Chico	8
Coscomatepec	79	Onaveño	38	Zapalote Grande	37
		Palomero Toluqueño	12		

Caracterización climática de los sitios de accesión

Apartir de las coordenadas geográficas de los sitios de colecta se generó un archivo vectorial y un archivo raster, mediante los cuales y haciendo uso del módulo GIS analysis del sistema IDRISI Andes (Eastman, 2006), se extrajo información puntual por accesión, relacionada con las siguientes variables: precipitación anual (Pa), precipitación estacional (Pe), considerando para ello el período mayo-octubre, precipitación del mes de julio (P7), precipitación del mes de agosto (P8), precipitación del mes de septiembre (P9), evapotranspiración potencial anual (ETPa), evapotranspiración potencial estacional (ETPe), evapotranspiración potencial de julio (ETP7), evapotranspiración potencial de agosto (ETP8), evapotranspiración potencial de septiembre (ETP9), índice de humedad anual (IH_a)= Pa/ETPa, índice de humedad estacional (IH_e)= Pe/ETPe, índice de humedad de julio (IH7)= P7/ETP7, índice de humedad de agosto (IH8)= P8/ETP8, e índice de humedad de septiembre (IH9)= P9/ETP9. Para extraer la información de todas estas variables se utilizó el sistema de información ambiental (SIA) del INIFAP, el cual contiene información de todos estos parámetros en formato raster. La información que integra el SIA proviene de datos climáticos diarios de la serie 1961-2003, correspondiente a la Red de Estaciones Meteorológicas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

information by accession related to the following variables: annual precipitation (Pa), seasonal rainfall (Pe), taking into consideration the period from May to October, July precipitation (P7), August precipitation (P8), September precipitation (P9), annual potential evapotranspiration (ETPa), seasonal potential evapotranspiration (ETPe), July evapotranspiration (ETP7) August evapotranspiration (ETP8) September evapotranspiration (ETP9) annual humidity index (IH_a)= Pa/ETPa, seasonal humidity index (IH_e)= Pe/ETPe, July humidity index (IH7)= P7/ETP7, August humidity index (IH8)= P8/ETP8, and September humidity index (IH9)= P9/ETP9. To extract the information of all these variables was used the environmental information system (SIA) from INIFAP; this contains information of all these parameters in raster format. The information that SIA integrates comes from daily weather data series from 1961-2003, corresponding to the network of meteorological stations of the National Water Commission (CONAGUA).

Statistical analysis

It was considered as unit of analysis the races. Analyses of variance were conducted to estimate the importance of variation between races and within races for environmental variables, since, if the variation between races is

Análisis estadístico

Se consideró como unidad de análisis a las razas. Se realizaron análisis de varianza para estimar la importancia de la variación entre razas y la variación dentro de razas para las variables ambientales; ya que si la variación entre razas es considerablemente mayor que la variación dentro de razas, entonces es posible llevar a cabo análisis de taxonomía numérica tomando como unidad los promedios de razas, para ello se utilizó el módulo SAS proc GLM del sistema estadístico SAS (SAS Institute, 1999).

Para determinar las relaciones entre razas a partir de 10 variables derivadas de la caracterización agroclimática de los sitios de colecta, se calculó la distancia euclidiana con datos estandarizados a media cero y varianza uno y el agrupamiento se hizo con el método promedio de grupo. Para estimar el número óptimo de grupos, se usó el método de validación de Wishart (2006) contenido en el programa Clustan Graphics V8, utilizando 1 000 repeticiones. El método compara el agrupamiento obtenido con los datos originales, con los agrupamientos generados por permutación aleatoria de dichos datos; la distribución e intervalos de confianza obtenidos por permutación se comparan con el dendrograma generado con los datos de interés bajo la hipótesis de que dichos datos se distribuyen aleatoriamente, en otras palabras, no tienen estructura.

Adicionalmente se realizó un análisis de accesiones por raza para identificar las accesiones que desarrollan bajo ambientes con deficiencia de humedad. En primer término se realizó una selección de accesiones que se cultivan bajo condiciones de temporal, eliminando las accesiones que reciben riego de auxilio o que se cultivan con humedad residual; la información se obtuvo de la Unidad de Recursos Genéticos del Banco de Germoplasma de INIFAP, ubicado en el Campo Experimental Valle de México del INIFAP. Una vez depurada la base de datos, se obtuvieron las accesiones que desarrollan bajo un índice de humedad mayo-octubre menor que 0.5 (considerado como el límite superior de la condición semiárida por la UNEP; UNEP, 1992), identificándolas por raza y entidad federativa. Con el sistema ArcGis (ESRI, 2006) se elaboró un mapa nacional de distribución de accesiones. Por último, con el sistema Excel de Microsoft se calcularon los valores mínimos de lluvia e índice de humedad mayo-octubre promedios bajo los cuales desarrolla cada raza de maíz.

considerably greater than the variation within races, then it is possible to perform an analysis of numerical taxonomy, taking as unit the averages of races, for it was used the SAS proc GLM module from the SAS statistical system (SAS Institute, 1999).

To determine the relationships between races from 10 variables derived from agro climatic characterization of the collection sites, was calculated the Euclidean distance with standardized data to zero mean and unit variance and clustering was made with the group average method. To estimate the optimal number of groups, we used the validation method of Wishart (2006) contained in the Graphics Clustan V8 program, using 1 000 replications. The method compares the obtained clustering with the original data, with the clusters generated by random permutation of the data, the distribution and confidence intervals obtained by permutation are compared with the dendrogram generated with the data of interest under the hypothesis that these data are randomly distributed, in other words, have no structure.

Additionally was performed an accessions analysis by race to identify accessions that developed under moisture-deficient environments. First there was a selection of accessions that are planted under rainfed conditions, eliminating the accessions receiving supplemental irrigation or planted with residual moisture; the information was obtained from the Genetic Resources Unit of the Germplasm Bank from INIFAP, located in the experimental site Valley of Mexico from INIFAP. Once treated the database, were obtained the accessions that developed under a humidity index less than 0.5 from May to October (considered the upper limit of the semi-arid conditions by UNEP, UNEP, 1992), identifying them by race and state. With the ArcGIS system (ESRI, 2006) was developed a national distribution map of accessions. Finally, with the Microsoft Excel system were calculated the minimum values of precipitation and humidity index averages from May to October under which each maize race grows.

Characterization of racial groups

A characterization of precipitation and humidity index of racial groups was made, obtained from cluster analysis. From this racial characterization, groups were typified by moisture availability conditions, using semiarid, sub

Caracterización de grupos raciales

Se hizo una caracterización de precipitación e índice de humedad de los grupos raciales obtenidos del análisis de agrupamiento. A partir de esta caracterización se tipificaron los grupos raciales por condiciones de humedad disponible para el maíz, utilizando las designaciones semiárido, subhúmedo-seco y subhúmedo-húmedo, cuando de acuerdo con la UNEP (1992) el valor promedio grupal de IH mayo-octubre se ubicó entre 0.21 y 0.50, 0.5 y 0.65, y entre 0.65 y 1.0, respectivamente. Además se describieron como ambientes húmedo, húmedo-muy húmedo y muy húmedo, cuando el valor promedio de IH estacional fue de 1.0 a 1.25, 1.25 a 1.5 y >1.5, respectivamente.

Resultados y discusión

Análisis racial

Los resultados obtenidos del análisis de variación entre razas se describen en el Cuadro 2. Ahí se puede ver que el valor de la prueba de F es altamente significativo para todas las variables analizadas, lo cual señala que existen diferencias reales entre los ambientes hídricos en que desarrollan las razas de maíz; por tanto, al diferir las razas en condiciones de humedad es muy posible difieran también en cuanto a los genes relacionados con adaptación ambiental (Linhart y Grant, 1996).

Cuadro 2. Valores de media aritmética, coeficiente de variación y F, para la variación entre razas, con relación a diez variables agroclimáticas.

Table 2. Arithmetic mean values, variation coefficient and F, for the variation between races, related to ten agro-climatic variables.

Variable	Promedio	Coeficiente de variación	Valor- F^{\dagger}
Precipitación anual (mm)	1013.60	46.60	95.45**
Precipitación estacional (mm)	866.65	42.34	99.80**
Precipitación mes de julio (mm)	182.34	35.66	55.80**
Precipitación mes de agosto (mm)	181.93	37.81	69.76**
Precipitación mes de septiembre (mm)	188.73	49.67	111.72**
Índice de humedad anual	0.63	48.30	82.54**
Índice de humedad estacional	1.00	44.26	90.66**
Índice de humedad mes de julio	1.17	38.32	49.56**
Índice de humedad mes de agosto	1.65	36.79	49.46**
Índice de humedad mes de septiembre	1.41	49.99	96.17**

† Valor de Prueba de F de hipótesis nula o no variación entre razas. **Significancia de $p < 0.01$.

En la Figura 1 se puede ver el resultado del análisis de agrupamiento realizado para las 54 razas bajo estudio. El procedimiento de validación de Clustan Graphics (Wishart,

humid-dry and sub humid-wet designations, according to UNEP (1992) the average value of HI from May to October was between 0.21 and 0.50, 0.5 and 0.65, and between 0.65 and 1, respectively. Also described as humid environments, wet-very wet and very wet, when the seasonal average value of HI was 1.0 to 1.25, 1.25 to 1.5 and > 1.5, respectively.

Result and discussion

Racial analysis

The results obtained from the analysis of variation between races are described in Table 2. It shows that the value of F test is highly significant for all the variables analyzed, which indicates that there are real differences between the water environments in which maize races grow, therefore, when races differ in moisture conditions is likely to differ also in terms of the genes related to environmental adaptation (Linhart and Grant, 1996).

In Figure 1 can be seen the result of the cluster analysis performed for the 54 races under study. The validation procedure from Clustan Graphics (Wishart, 2006), was based on 1 000 random replications of the original data, found the optimal number of groups and divided the races of maize into five groups, which could be identified with the features

that are described below, according to agro climatic average values from May to October of the races that compose each division (Table 3).

2006), se basó en 1 000 repeticiones aleatorias de los datos originales, encontró el número óptimo de grupos y dividió las razas de maíz en cinco grupos, los cuales podrían ser identificados con las características que se describen a continuación, de acuerdo con los valores agroclimáticos promedio mayo-octubre de las razas que componen cada división (Cuadro 3).

Group 2: adaptation to wet-very wet conditions

For the average value of Hle (between 1.25 and 1.50) the races of this group are classified as adaptation to wet-very wet conditions. It is composed of races Comiteco Olotillo, Tuxpeño Vandeño, Zapalote, Chico and Palomero Toluqueño that are grown under a range of precipitation

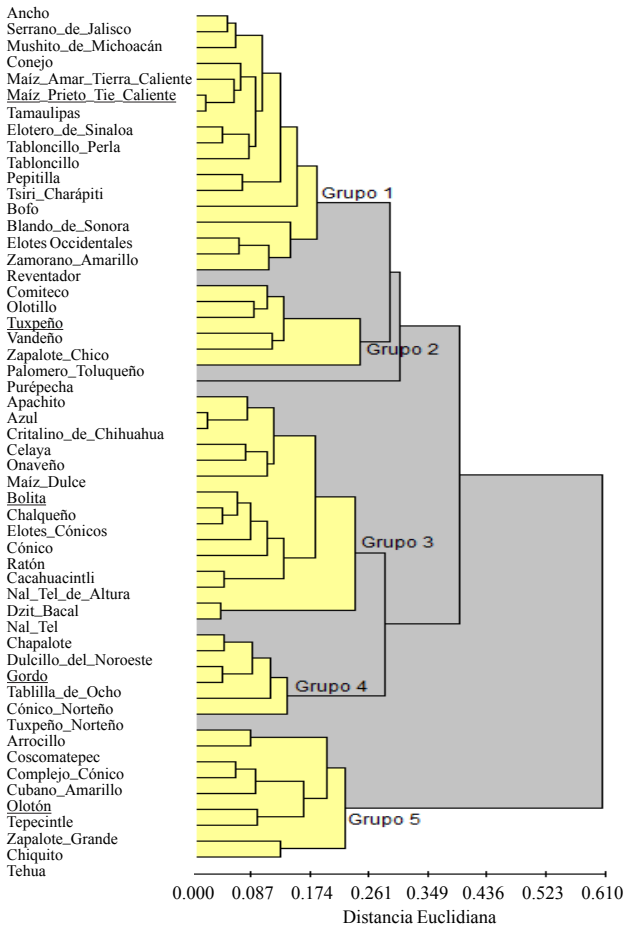


Figura 1. Dendrograma de 54 razas de maíz, basado en 10 variables agroclimáticas.

Figure 1. Dendrogram of 54 races of maize, based on 10 agro-climatic variables.

Grupo 1: adaptación a temporal húmedo

El IH mayo-octubre de las razas que componen este grupo es alrededor de 1, señalando que desarrollan en un ambiente favorable en condiciones de humedad. Sin embargo, en algunas razas se puede apreciar (Cuadro 3) que el IH estacional es inferior a 1, aun cuando los valor de IH de julio a septiembre esté por arriba o cercano a este valor, lo que señala la presencia de déficit de humedad muy probablemente al inicio o al finalizar el ciclo de producción, pero sobre todo al término de éste. Se advierte la formación de diversos subgrupos, pero más evidentemente la presencia

of 913-1 214 mm. The July-September quarter shows abundant rainfall, so there is no moisture deficit during the maturation cycle of maize (Table 3).

Group 1: adaptation to humid conditions

The HI from May to October of the races that compose this group is about 1, indicating that develop in a favorable environment in humid conditions. However, in some breeds can be seen (Table 3) that the seasonal HI is less than 1, even if the value of HI from July to September is above or close to this value, which indicates the presence of moisture deficit

de dos subgrupos, el primero integrado por las razas Ancho, Serrano de Jalisco, Mushito de Michoacán, Conejo, Maíz Amarillo de Tierra Caliente, Maíz Prieto de Tierra Caliente, Tamaulipas, Elotero de Sinaloa, Tabloncillo Perla, Tabloncillo, Pepitilla, Tsiri Charapiti y Bofo, las cuales desarrollan con una precipitación acumulada mayo-octubre entre 788 y 962 mm, con un trimestre julio-septiembre sin déficit de humedad y un IHe superior o muy cercano a 1 (Cuadro 3). El segundo subgrupo lo integran las razas Blando de Sonora, Elotes Occidentales, Zamorano Amarillo y Reventador, con una precipitación mayo-octubre entre 649 y 812 mm y un IHe por debajo de 1, sobresaliendo la raza Blando de Sonora con los valores más bajos, que denotan probable adaptación a sequía.

most likely at the beginning or at the end of the production cycle, but especially at the end of it. Note the formation of various subgroups, but more clearly the presence of two subgroups, the first composed of races Ancho, Serrano from Jalisco, Mushito from Michoacán, Conejo, Maíz Amarillo from Tierra Caliente, Maíz Prieto from Tierra Caliente, Tamaulipas, Elotero from Sinaloa, Tabloncillo Perla, Tabloncillo, Pepitilla, Tsiri Charapiti and Bofo, which develop with accumulated rainfall from May to October between 788 and 962 mm, with July-September quarter without moisture deficit and IHe higher or very close to 1 (Table 3). The second subgroup is composed of races Blando from Sonora, Elotes Occidentales, Zamorano Amarillo and Reventador with May-October rainfall

Cuadro 3. Valores promedio por raza y grupo racial, de parámetros agroclimáticos del período mayo-octubre.

Table 3. Average values by race and racial groups, of agro climatic parameters of the period from May-October.

Grupo racial	Razas	Precipitación				Índice de humedad (P/ETP)			
		Jul.	Ago.	Sept.	May-Oct	Jul.	Ago.	Sept.	May-Oct.
1	Ancho	200	197	184	899	1.32	1.81	1.40	1.05
	Serrano de Jalisco	208	196	188	899	1.42	1.84	1.48	1.08
	Mushito de Michoacán	207	184	168	844	1.42	1.77	1.32	1.00
	Conejo	219	209	207	962	1.35	1.77	1.47	1.05
	Maíz Amarillo de T. Caliente	228	203	183	904	1.33	1.67	1.24	0.92
	Maíz Prieto de T. Caliente	230	209	185	918	1.41	1.80	1.30	0.98
	Tamaulipas	232	213	192	934	1.41	1.82	1.34	0.98
	Elotero de Sinaloa	214	216	204	886	1.28	1.85	1.43	0.96
	Tabloncillo Perla	206	215	197	837	1.24	1.86	1.39	0.91
	Tabloncillo	222	215	171	789	1.27	1.87	1.18	0.82
	Pepitilla	221	214	195	972	1.47	1.97	1.49	1.14
	TsiriCharápiti	231	210	181	909	1.61	2.05	1.43	1.09
	Bofo	244	207	140	805	1.40	1.79	0.95	0.82
	Blando de Sonora	205	199	131	649	1.12	1.78	0.88	0.66
	Elotes Occidentales	192	180	159	804	1.21	1.58	1.15	0.89
	Zamorano Amarillo	197	182	141	757	1.32	1.72	1.07	0.87
	Reventador	181	196	195	812	1.10	1.66	1.37	0.89
	Promedio	213.9	202.6	177.7	857.5	1.33	1.80	1.29	0.95
2	Comiteco	185	218	272	1185	1.24	1.90	2.05	1.42
	Olotillo	219	221	278	1166	1.37	1.90	2.02	1.32
	Tuxpeño	205	213	258	1098	1.25	1.80	1.84	1.22
	Vandeño	208	223	238	1060	1.27	1.86	1.67	1.16
	Zapalote Chico	222	241	284	1213	1.30	1.86	1.89	1.28
	Palomero Toluqueño	163	160	218	913	1.27	1.72	1.98	1.28
	Promedio	200.5	212.5	257.8	1106.0	1.28	1.84	1.91	1.28

Cuadro 3. Valores promedio por raza y grupo racial, de parámetros agroclimáticos del período mayo-octubre (Continuación).
Cuadro 3. Valores promedio por raza y grupo racial, de parámetros agroclimáticos del período mayo-octubre (Continuation).

Grupo racial	Razas	Precipitación				Índice de humedad (P/ETP)			
		Jul.	Ago.	Sept.	May-Oct	Jul.	Ago.	Sept.	May-Oct.
3	Apachito	170	149	103	542	1.06	1.59	0.80	0.64
	Azul	158	142	102	506	0.95	1.50	0.78	0.58
	Cristalino de Chihuahua	154	139	96	486	0.93	1.47	0.73	0.56
	Celaya	148	139	124	618	0.96	1.31	0.95	0.72
	Onaveño	166	161	139	633	0.93	1.37	0.95	0.66
	Maíz Dulce	180	163	123	665	1.17	1.53	0.92	0.76
	Bolita	160	155	159	740	1.04	1.43	1.23	0.87
	Chalqueño	158	153	141	733	1.13	1.52	1.15	0.93
	Elotes Cónicos	164	157	150	761	1.18	1.57	1.24	0.97
	Cónico	144	138	136	696	1.05	1.39	1.15	0.90
	Ratón	132	132	149	651	0.78	1.16	1.06	0.71
	Cacahuacintle	165	159	156	792	1.25	1.68	1.37	1.07
	Nal-tel de altura	160	148	165	777	1.26	1.59	1.49	1.08
	Dzit-Bacal	170	186	217	959	0.92	1.39	1.36	0.95
	Nal-Tel	163	177	213	940	0.87	1.33	1.35	0.94
	Promedio	159.6	153.1	144.9	699.9	1.03	1.46	1.10	0.82
4	Chapalote	140	132	68	409	0.69	1.19	0.43	0.39
	Dulcillo del Noroeste	153	131	65	410	0.76	1.20	0.41	0.39
	Gordo	137	125	88	437	0.79	1.30	0.66	0.49
	Tablilla de Ocho	142	135	98	496	0.82	1.25	0.71	0.53
	Cónico Norteño	114	109	88	436	0.69	1.04	0.65	0.49
	Tuxpeño Norteño	101	105	103	459	0.57	0.94	0.73	0.49
	Promedio	131.2	122.9	85.2	441.2	0.72	1.15	0.60	0.46
5	Arrocillo	225	225	282	1202	1.71	2.38	2.51	1.65
	Coscomatepec	242	232	264	1204	1.80	2.38	2.26	1.61
	Complejo Cónico	227	275	330	1420	1.51	2.40	2.51	1.71
	Cubano Amarillo	226	264	327	1464	1.48	2.24	2.39	1.70
	Olotón	220	256	296	1307	1.52	2.33	2.34	1.62
	Tepecintle	227	250	295	1254	1.41	2.07	2.08	1.39
	Zapalote Grande	219	247	308	1339	1.33	1.99	2.13	1.46
	Chiquito	207	250	345	1472	1.36	2.15	2.54	1.73
	Tehua	230	272	351	1496	1.53	2.39	2.70	1.81
	Promedio	224.9	252.3	310.9	1350.8	1.52	2.26	2.38	1.63
	Purépecha	252	236	208	1026	1.77	2.31	1.66	1.24

Grupo 2: adaptación a temporal húmedo-muy húmedo

Por el valor promedio de IHe (entre 1.25 y 1.50), las razas de este grupo se clasifican como de adaptación a temporal húmedo-muy húmedo. Está integrado por las razas Comiteco, Olotillo, Tuxpeño, Vandeño, Zapalote Chico y Palomero Toluqueño, que se producen bajo un rango de Pe de 913 a 1214 mm. El trimestre julio-septiembre presenta precipitaciones abundantes, por lo que no existe déficit de humedad durante el ciclo de madurez del maíz (Cuadro 3).

between 649 and 812 mm and a IHe below 1, excelling the race Blando from Sonora with the lowest values, denoting probable drought adaptation.

Group 3: adaptation to sub humid-humid conditions

Develop under conditions of drought stress at some time in the production cycle (IHe values less than 1), except for races Cacahuacintle and Nal-Tel of Height, which are adapted to environments with IHe above 1. Five subgroups

Grupo 3: adaptación a temporal subhúmedo-húmedo

Desarrollan bajo condiciones de estrés por sequía en algún período del ciclo de producción (valores de IHe menores que 1), con excepción de las razas Cacahuacintle y Nal-Tel de Altura, las cuales se adaptan a ambientes con un IHe por arriba de 1. Se aprecian cinco subgrupos, uno integrado por estas dos razas, con Pe entre 777 y 793 mm, pero que es suficiente para mantener un IH por arriba de 1 durante el trimestre julio-septiembre, debido a que estas razas están adaptadas a ambientes de altura, donde la demanda evapotranspirativa es menor. Otro subgrupo lo integran las razas Bolita, Chalqueño, Elotes Cónicos, Cónico y Ratón, con una Pe de 650 a 761 mm y un IHe de 0.71 a 0.97, sin problemas por déficit de humedad ($IH > 1$) en el trimestre julio-septiembre, con excepción de la raza Ratón con déficit en julio.

Un tercer subgrupo lo forman las razas Dzit Bacal y Nal-Tel, con una Pe de 940 a 959 mm, pero con un IH de julio y un IHe inferiores a 1, debido a altos valores de temperatura y evapotranspiración en las regiones en que desarrollan (Ruiz *et al.*, 2011b). Un cuarto subgrupo lo integran Celaya, Onaveño y Maíz Dulce, con una Pe de 617 a 666 mm y un IHe de 0.66 a 0.76, señalando que se adaptan a un déficit hídrico al final del ciclo de madurez, ya que los niveles de IH en el trimestre julio-septiembre se mantienen cercanos o superiores a 1.

Por último un quinto subgrupo lo componen las razas Apachito, Azul y Cristalino de Chihuahua, con una Pe más baja que la del resto de los subgrupos, esto es 486 a 542 mm, que combinada con las condiciones de temperatura y evapotranspiración de los sitios de acceso de estas razas, se traduce en un IHe de 0.56 a 0.64; del trimestre julio-septiembre, el mes de septiembre es el que más manifiesta la presencia de déficit de humedad, con un IH por debajo de 0.81, lo cual señala que estas razas presentan los mayores problemas de sequía al final del ciclo de madurez. Del grupo 3, se puede concluir que las razas que manifiestan más claramente una adaptación a déficit hídrico son Apachito, Azul, Cristalino de Chihuahua y Ratón.

Grupo 4: adaptación a temporal semiárido

Este grupo lo integran las razas Chapalote, Dulcillo del Noroeste, Gordo, Tablilla de Ocho, Cónico Norteño y Tuxpeño Norteño, que se adaptan a los ambientes con el

are appreciated, one composed by these two races, with a Pe between 777 and 793 mm, but it is sufficient to maintain an IH above 1 during the July-September quarter, because these races are adapted to environments of height, where evapotranspiration demand is lower. Another subgroup is composed races Bolita, Chalqueño, Elotes Conicos, Conicos and Raton, with a Pe of 650-761 mm and an IHe from 0.71 to 0.97 without problems of moisture deficit ($IH > 1$) in the July-September quarter, except for the Raton race with deficit in July.

A third subgroup is composed by races Dzit Bacal and Nal-Tel, with a Pe of 940-959 mm, but with a July IH and IHe below 1, due to high temperature and evapotranspiration in regions which develop (Ruiz *et al.*, 2011b). A fourth subgroup is composed by Celaya, Onaveño and Maíz Dulce with a Pe of 617-666 mm and an IHe from 0.66 to 0.76, indicating that adapt to water deficit at the end of the cycle of maturity, since the levels of IH in the July-September quarter remain close to or above 1.

Finally a fifth subgroup is composed by races Apachito, Azul and Cristalino from Chihuahua with a lower Pe than the rest of the subgroups, that is 486-542 mm, which combined with the conditions of temperature and evapotranspiration from the sites of accession, resulting in an IHe from 0.56 to, 0.64; from July-September quarter, the month of September is the one that manifest the presence of moisture deficit with an IH below 0.81, indicating that these races present higher problems of drought at the end of the maturity cycle. From group 3, concludes that the races that clearly manifested an adaptation to water deficit are Apachito Azul, Cristalino from Chihuahua and Raton.

Group 4: adaptation to semiarid conditions

This group is composed by races Chapalote, Dulcillo from Noroeste, Gordo, Tablilla of Eight, Conico Norteño and Tuxpeño Norteño, that adapt to environments with higher moisture deficit. This is a precipitation cycle from 409 to 496 mm, which translates to an IHe less than 0.5 in five of six races. During the July-September quarter is not completely cover the water demand, which indicates that corn develops under drought problems. Water deficit is greater in July and September, which surely has an impact on the yield of these races (Table 3). Therefore, all races of this group could provide genes for resistance or tolerance to drought (Linhart and Grant, 1996).

como Arrocillo y Zapalote Grande llegan a adaptarse a un ciclo de temporal con IH incluso entre 0.6 y 0.8, esto es que actualmente aún las razas de ambiente húmedo y muy húmedo ya están siendo sometidas a estrés hídrico, lo que podría ser de utilidad para escenarios climáticos con déficit hídrico que está generando el cambio climático aún en zonas que se consideran de temporal eficiente (Zarazúa, 2011; Ruiz *et al.*, 2011a).

La gran diversidad climática y formas de cultivo de las regiones agrícolas, la selección por muchos grupos humanos durante varios milenios, el flujo genético y la deriva genética han creado muchos patrones en la distribución de las razas de maíz que existen en la actualidad en México. Los resultados de este trabajo indican que la heterogeneidad ambiental y los procesos de selección por parte de los grupos indígenas durante milenios, son los factores de mayor importancia que han moldeado los patrones de diversidad observados en las razas de maíz de México. Los grupos humanos han creado ambientes más propicios para el maíz con base en manejo de suelos, la eliminación de todo tipo de malezas, fertilización, control de insectos y control de humedad, dando lugar a una expansión considerable en el rango de adaptación de las diferentes razas y variedades; en varios casos en condiciones consideradas no aptas para el crecimiento del maíz.

Con base en la diversidad ambiental, de grupos humanos y en las evidencias arqueológicas, es claro que México representa un centro muy importante de diversidad genética de maíz. Los aspectos anteriores pueden explicar la importancia de algunas razas mexicanas y algunas variedades de maíz sobresalientes en los programas de mejoramiento en todo el mundo durante las últimas décadas, con buenos resultados en la mejora de la calidad del grano, arquitectura de la planta, la adaptabilidad y el rendimiento y su estabilidad (Timothy *et al.*, 1988; Ruiz *et al.*, 2002).

Conclusiones

La clasificación de las razas mexicanas de maíz mediante taxonomía numérica aplicada con variables descriptivas de las condiciones de humedad de los sitios de colecta de maíces nativos, revela que existen grupos diferenciados de razas con relación a adaptación a déficit hídrico durante el ciclo de temporal. Un grupo integrado por las razas Chapalote, Dulcillo del Noroeste, Tuxpeño Norteño, Cónico Norteño, Tablilla de Ocho y Gordo se identificó como el de mayor

Figure 3 shows the most extreme value of IH from May to October in which develops each of the 54 races studied. In the latter filter, it can be figured out which would be the maximum level of hardness or resistance to moisture deficiency conditions by each race. In this way it can be deduced that the wet races like Arrocillo and Zapalote Grande become to adapt a cycle with an IH between 0.6 and 0.8, this is because currently Wet and Very Wet races are being subjected to water stress, which could be useful for climate scenarios with water deficit that is generating climate change even in areas that are considered efficient (Zarazúa, 2011, Ruiz *et al.*, 2011a).

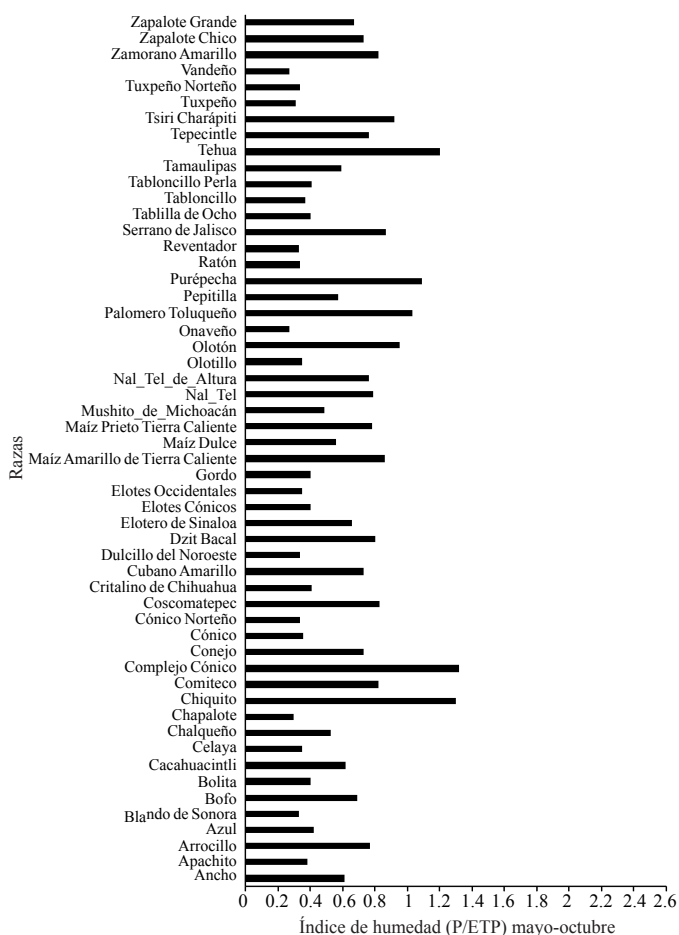


Figura 3. Valor mínimo de índice de humedad mayo-octubre, para el cultivo de 54 razas de maíz.

Figure 3. Minimum value of humidity index from May to October, for the cultivation of 54 races of maize.

The wide diversity of climates and cultivation forms from the agricultural regions, the selection for many human groups over several millennia, gene flow and genetic drift have created many patterns in the distribution of maize races that exist today in Mexico. The results of

adaptación a un temporal más seco, incluso con condiciones de semiaridez (IHe entre 0.21 y 0.5). Sin embargo, en total se identificaron 678 accesiones con adaptación a un ambiente semiárido durante el período primavera-verano. Estas accesiones corresponden a 24 razas, por lo que además de adaptación a déficit hídrico, estas razas aportan diversidad genética en la integración de posibles poblaciones para mejoramiento genético. Aun cuando es conveniente complementar los resultados obtenidos, con investigaciones adicionales que incluyan accesiones de las razas que no fueron incluidas en este trabajo, se puede concluir que en nuestro país existen recursos genéticos de maíz adaptadas a condiciones de sequía y que pueden contribuir a la generación de variedades adaptables a condiciones hídricas menos favorables por la presencia del cambio climático.

Literatura citada

- Eastman, J. R. 2006. IDRISI v 15.1. IDRISI Andes. Guide to GIS and Image Processing Vol. 1. Clark Labs-Clark University. Worcester, Mass. USA. 328 p.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). 2006. ArcGIS. Version 9.2. Redlands, California, U.S.A. 543 pp.
- Hayano, K. C.; Calderón, V. C.; Ibarra-Laclette, E.; Herrera, E. L. and Simpson, J. 2009. Analysis of gene expression and physiological responses in three Mexican maize landraces under drought stress and recovery irrigation. *PLoS ONE* 4(10): e7531. doi:10.1371/journal.pone.0007531.
- Linhart, Y. B. and Grant, M. C. 1996. Evolutionary significance of local genetic differentiation in plants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 27:237-277.
- Márquez, S. F. L.; Sahagún, C. y Barrera, G. E. 2009. Nuevo método de mejoramiento genético para resistencia a sequía en maíz. *Rev. Geo. Agríc.* 42:9-14.
- Mercer, K. L. and Perales, H. R. 2010. Evolutionary response of landraces to climate change in centers of crop diversity. *Evol. Appl.* 1752-4571:480-493.
- Pingali, P. L. and Pandey, S. 2001. Meeting world maize needs: technological opportunities and priorities for the public sector. CIMMYT 1999-2000 world maize facts and trends meeting world maize needs technological opportunities and priorities for the public sector. 212 pp.
- Ruiz, C. J.; Flores, L. H. E.; Ramírez, D. J. L. and González, E. D. R. 2002. Temperaturas cardinales y duración del ciclo de madurez del híbrido de maíz H-311 en condiciones de temporal. *Agrociencia.* 36(5):569-577.
- Ruiz, C. J. A.; Durán, P. N.; Sánchez, G. J. J.; Ron, P. R.; González, E. D. R.; Medina, G. G. and Holland, B. J. 2008. Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 maize races. *Crop Sci.* 48:1502-1512.
- Ruiz, C. J. A.; Medina, G. G.; Ramírez, D. J. L.; Flores, L. H. E.; Ramírez, O. G.; Manríquez, O. J. D.; Zarazúa, V. P.; González, E. D. R.; Díaz, P. G. y de la Mora, O. C. 2011a. Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(2):309-323.

this study indicate that environmental heterogeneity and selection processes by indigenous groups for millennia, are the major factors that have shaped diversity patterns observed in the races of maize in Mexico. Human groups have created environments more appropriate for maize based on soil management, eliminating all types of weeds, fertilization, insect control and humidity control, leading to a significant expansion in the range of adaptation of the different races and varieties and in many cases in conditions considered unsuitable for the growth of maize.

Based on the environmental diversity of human groups and on archaeological evidence, it is clear that Mexico represents a very important center of genetic diversity of maize. The above aspects can explain the importance of some Mexican races and some outstanding varieties of maize in the breeding programs worldwide during the last decades, with good results in improving grain quality, plant architecture, adaptability, yield and stability (Timothy *et al.*, 1988, Ruiz *et al.*, 2002).

Conclusions

Classifying Mexican maize races by numerical taxonomy with descriptive variables of moisture conditions of collection sites of landraces, reveals that there are distinct groups of races in relation to adaptation, to water deficit during the cycle. A group composed of Chapalote, Dulcillo Noroeste, Tuxpeño Norteño, Conico Norteño, Tablilla of Eight and Gordo were identified with the higher adaptation to drier, even with semi-arid conditions (IHe between 0.21 and 0.5). However, in total we identified 678 accessions with adaptation to a semi-arid environment during the spring-summer period. These accessions correspond to 24 races, so well adapted to water deficit; these races provide genetic diversity in the integration of possible breeding populations. While it is desirable to complement the results obtained, with additional research involving races accessions that were not included in this study, we can conclude that in our country there are genetic resources adapted to drought conditions that may contribute to the generation of varieties adaptable to water conditions less favorable for the presence of climate change.

End of the English version



- Ruiz, C. J. A.; Ramírez, D. J. L.; Hernández, C. J. M.; Aragón, C. F.; Sánchez, G. J. J.; Ortega, C. A.; Medina, G. G. y Ramírez, O. G. 2011b. Razas mexicanas de maíz como fuente de germoplasma para la adaptación al cambio climático. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(2):365-379.
- Sánchez, G. J. J.; Goodman, M. M. and Stuber, C. W. 2000. Isozymatic and morphological diversity of the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54(1):43-59.
- Sánchez, G. J. J.; De La Cruz, L. L.; Vidal, M. V. A.; Ron, P. J.; Taba, F. S.; Santacruz-Ruvalcaba, S.; Sood, J. B.; Holland, J. A.; Ruiz, C. S.; Carvajal, F.; Aragón, C.; Chávez, T. V. H.; Morales, R. M. M. and Barba-González, B. 2011. Three new teosintes (*Zea* spp., Poaceae) from México. *Ame. J. Bot.* 98(9):1537-1548.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2010. Cierre de la producción agrícola por cultivo, año 2010. URL: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>. (consultado mayo, 2012).
- Smith, M. E.; Castillo, G. F. and Gómez, F. 2001. Participatory plant breeding with maize in Mexico and Honduras. *Euphytica* 122:551-565.
- Timothy, D. H.; Harvey, P. H. and Dowswell, C. R. 1988. Development and spread of improved maize varieties and hybrids in developing countries. Bureau for science and technology, agency for international development. Washington, DC. 876.
- UNEP. 1992. World atlas of desertification. Editorial commentary by Middleton, N. and Thomas, Edward, A. D. S. G. London. 76.
- Wishart, D. 2006. Clustan graphics primer: a guide to cluster analysis. Clustan Limited, Edinburgh. 67 p.
- Zarazúa, V. P.; Ruiz, C. J. A.; González, E. D. R.; Flores, L. H. E. y Ron, P. J. 2011. Cambio climático y agroclimático para el ciclo otoño-invierno en la región Ciénega de Chapala. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(2):209-222.