

Cambio climático en México y distribución potencial del grupo racial de maíz cónico*

Climate Change in Mexico and potential distribution of racial groups conical maize

José Ariel Ruiz Corral^{1§}, José de Jesús Sánchez González², Gabriela Ramírez Ojeda¹, José Luis Ramírez Díaz¹, Noé Durán Puga³, Lino de la Cruz Larios², Guillermo Medina García⁴, Víctor Rodríguez Moreno y Patricia Zarazúa Villaseñor²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Región Pacífico-Centro, Interior Parque Los Colomos s/n II Sección, Colonia Providencia, Guadalajara, Jalisco. Tel. (33) 36 41 07 72. ²Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Camino Ing. Ramón Padilla Sánchez 2100, poblado La Venta del Astillero, Zapopan, Jal. ³Unidad Académica de Agricultura. Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela, km 9. Xalisco, Nayarit, México. C. P. 63780. ⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, carretera Fresnillo-Zacatecas km 24.5, Calera de Víctor Rosales C. P. 98500. ⁵Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Pabellón. Carretera Aguascalientes-Zacatecas, km 32.5. Pabellón de Arteaga, C. P. 20660. [§]Autor para correspondencia: arielcajeme@hotmail.com.

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del cambio climático del período 2041-2060 sobre los nichos potenciales de distribución de las razas mexicanas de maíz del grupo cónico. Para ello se utilizó información de datos pasaporte de 9 823 accesiones georreferenciadas, correspondientes a 12 razas de este grupo racial. Se generó un sistema de información con 20 variables climáticas y topográficas para la República Mexicana con base en las climatologías 1961-1990 y 2041-2060, para lo cual se utilizaron imágenes del portal Earth System Grid (ESG) de WorldClim importadas en el sistema Idrisi Selva como imágenes en formato raster con una resolución de 2.5 minutos de arco. Para el período 2041-2060 se consideraron los modelos de circulación general HadGEM2-AO y MIROC5, bajo dos vías de concentración de gases efecto invernadero (GEI) (rcp4.5 y rcp6.0). Con base en este sistema de información se modelaron los nichos potenciales de distribución del grupo racial cónico de maíz mediante el modelo Maxent. Los resultados mostraron que el cambio climático del período 2041-2060, incrementará la superficie con aptitud ambiental alta para la distribución del grupo

Abstract

The aim of this study was to evaluate the effect of climate change for the period 2041-2060 on potential niche distribution of Mexican conical maize races. To do so, information from 9 823 georeferenced entries, corresponding to 12 races of this racial group was used. An information system with 20 climatic and topographic variables was generated for Mexico, based on climatologies from 1961-1990 and 2041-2060, for which were used images from the portal Earth System Grid (ESG) WorldClim imported into the Idrisi Selva system as images in raster format with a resolution of 2.5 arcmin. For the period 2041-2060 the general circulation model HadGEM2-AO and MIROC5 under two concentration pathways of greenhouse gases (GHG) (rcp4.5 and rcp6.0) were considered. Based on this information system the potential niche distribution of conical maize racial group was modeled by Maxent model. The results showed that climate change for the period 2041-2060 will increase the surface with high environmental suitability for distribution of conical maize racial group. In this regard, is more favorable the outcome that would occur under the path rcp4.5 than under the path rcp6.0 of GHG emissions and concentration. However, a differential effect of climate change

* Recibido: enero de 2014
Aceptado: julio de 2014

racial cónico de maíz. A este respecto es más favorable el panorama que se presentaría bajo la ruta rcp4.5 que bajo la ruta rcp6.0 de emisiones y concentración de GEI. Sin embargo, se identificó un efecto diferenciado del cambio climático sobre las razas que integran el grupo Cónico, concluyéndose que las razas que mayormente se beneficiarán del cambio climático 2041-2060 serán, Mushito de Michoacán, Negrito y Cónico, mientras que las que resultarán más afectadas negativamente en su potencial de distribución serán Chalqueño, Cónico Norteño y Mushito.

Palabras clave: cambio climático, grupo racial cónico, nichos de distribución, razas de maíz.

Introducción

El grupo cónico incluye a las razas de maíz Cónico Norteño, Palomero Toluqueño, Palomero de Chihuahua, Cónico, Elotes Cónicos, Arrocillo, Chalqueño, Mushito, Mushito de Michoacán, Cacahuacintle, Negrito y Maíz Dulce (Sánchez, 2011; CONABIO, 2014). Este grupo fue señalado como un grupo distintivo, tipo "Centro de México", por Kuleshov (1930), Mexican Pyramidal por Anderson y Cutler (1942), y como el "Grupo Cónico" por Goodman and McK Bird (1977) y Sánchez (1989). Las razas de este grupo, tienen en común mazorcas de forma cónica, números altos de hileras de grano, 14-20; granos de 4-8 mm de ancho con textura variable, desde harinosos hasta córneos, número reducido de ramas en la espiga, sistema de raíces débiles, hojas postradas y vainas de las hojas fuertemente pubescentes y con presencia de antocianinas (Sánchez, 2011).

La mayoría de las razas son endémicas del Valle de México y se distribuyen en las regiones con elevaciones de más de 2000 m por lo que también se clasifican dentro del grupo de razas de maíz con adaptación a un ambiente templado-semicálido con régimen de humedad subhúmedo o semiárido (Ruiz *et al.*, 2008) con una temperatura media de la estación de crecimiento entre 14 y 21°C. De acuerdo con estos autores, dentro de este grupo se localizan tres subgrupos, siendo los subgrupos 2 y 3 los que aglomeran razas del Grupo Cónico. El subgrupo 2 se caracteriza por razas adaptadas a una estación de crecimiento con más de 650 mm e incluye a Cacahuacintle, Cónico, Elotes Cónicos, Chalqueño, Palomero Toluqueño y Cónico Norteño.

on the races that make up the Conical group was identified, concluding that races that mostly benefit from climate change 2041-2060 will be, Mushito from Michoacan, Negrito and Conical, while the most adversely affected in their distribution potential will be Chalqueño, Conical Northern and Mushito.

Keywords: climate change, conical racial group, maize races, niche distribution.

Introduction

The conical group includes Conical Norteño, Palomero Toluqueño, Palomero from Chihuahua, Conical, Conical cob, Arrocillo, Chalqueño, Mushito, Mushito from Michoacan, Cacahuacintle, Negrito and Sweet Corn (Sánchez, 2011; CONABIO, 2014). This group was designated as a distinct group, type "Central Mexico" by Kuleshov (1930), Mexican Pyramidal by Anderson and Cutler (1942), and as "Conical Group" by Goodman and McK Bird (1977) and Sánchez (1989). The races from this group have in common conical cobs, large numbers of grain row, 14 to 20; grains of 4-8 mm wide with varying texture from floury to horny, reduced number of branches in the ear, weak root system, prostrate leaves and leave pods heavily pubescent and presence of anthocyanins (Sánchez, 2011).

Most races are endemic to the Valley of Mexico and distributed in regions with elevations over 2000 m, therefore also classified in the group of maize races with adaptation to a semi-warm temperate humid atmosphere with a moist or semiarid regime (Ruiz *et al.*, 2008) with an average temperature of the growing season between 14 and 21 °C. According to these authors, within this group are located three subgroups, being subgroups 2 and 3 which agglomerate races from Conical Group. Subgroup 2 is characterized by races adapted to a growing season with more than 650 mm and includes Cacahuacintle, Conical, Conical cobs, Chalqueño, Palomero Toluqueño and Conical Norteño.

Meanwhile, subgroup 3 is characterized by a wet growing season with more than 1 000 mm cumulative, including Arrocillo and Mushito races. Conical Group races are evidence that a species can be cultivated and adapted to very different environmental conditions to those prevailing in their place of origin. This is how some of the races from the Conical Group, in correspondence with their adaptation to temperate environments, maintaining a base temperature below 5 °C, as is the case of Conical, Conical cob, Mushito,

En tanto, el subgrupo 3 se caracteriza por una estación de crecimiento húmeda con más de 1 000 mm acumulados e incluye a las razas Arrocillo y Mushito. Las razas del Grupo Cónico son evidencia de que una especie puede ser cultivada y adaptarse a condiciones ambientales muy diferentes a las que prevalecen en su centro de origen. Es así como algunas de las razas del Grupo Cónico, en correspondencia con su adaptación a ambientes templados, mantienen una temperatura base inferior a 5 °C, como es el caso de Cónico, Elotes Cónicos, Mushito, Cacahuacintle y Chalqueño (Ruiz *et al.*, 1998). Este valor de temperatura base difiere significativamente del que se conoce típicamente para el maíz, que con 10 °C (Cutforth y Shaykewich, 1989), se considera una planta de adaptación a ambientes subtropicales y tropicales (Ruiz *et al.*, 2013a).

Estos datos prueban además la influencia de la diversidad climática sobre el cultivo del maíz y son muestra de la interacción genotipo-ambiente que ha venido ocurriendo a partir de la dispersión del maíz a lo largo y ancho del territorio mexicano. Las características de diversidad en cuanto a adaptación ambiental por parte de las razas mexicanas de maíz, se consideran ventajosas en el contexto de la necesidad de generar medidas de adaptación al cambio climático (Ruiz *et al.*, 2013b). 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).

Se ha demostrado que bajo condiciones de temporal adversas, los materiales criollos mantienen una mayor estabilidad de rendimientos que los considerados materiales genéticamente mejorados (Smith *et al.*, 2001). Las razas del grupo cónico, no son la excepción en este sentido y en los Valles Altos del centro de México continúan cultivándose por su buen comportamiento agronómico y características especiales tales como el color de su grano y la presencia de antocianinas. Sin embargo, aún con la mayor rusticidad de estos materiales nativos de México, la presencia del cambio climático constituye una amenaza para las razas de maíz y materiales criollos, debido a que generalmente son cultivadas bajo un esquema de agricultura de autoconsumo, artesanal y a baja escala, con pocos apoyos tecnológicos y económicos.

Hasta hoy pocos son los trabajos que se han realizado en México para evaluar el impacto del cambio climático sobre los recursos genéticos y parientes silvestres asociados a los principales cultivos de México. Una de las tareas iniciales que deben realizarse es determinar el efecto de los cambios en

Cacahuacintle and Chalqueño (Ruiz *et al.*, 1998). This base temperature value differs significantly from that typically known for corn, that with 10 °C (Cutforth and Shaykewich, 1989), is considered a plant with adaptation to subtropical and tropical environments (Ruiz *et al.*, 2013a).

These data prove the influence of climatic diversity on corn and exemplify the interaction of genotype-environment that has been occurring from the dispersal of maize throughout the Mexican territory. The characteristics of diversity regarding environmental adaptation by Mexican maize races are considered advantageous in the context of the need to generate measures of adaptation to climate change (Ruiz *et al.*, 2013b). Especially in centers of origin and crop diversity, as is Mexico for corn, it is believed that the races conserved *in situ* are more rustic and will tolerate and will adapt better to climate change (Mercer and Perales, 2010).

It has been proven that under adverse rainfed conditions, creole materials maintain more stable yields than those considered genetically improved materials (Smith *et al.*, 2001). Conical races, are no exception in this regard and in the high valleys of central Mexico continue to be cultivated for their good agronomic performance and special characteristics such as color of its grain and the presence of anthocyanins. However, even with the greater hardiness of these native materials from Mexico, the presence of climate change poses a threat for maize races and native materials, do to they are generally grown under a system of subsistence agriculture, artisanal and at small scale with few technological and economic support.

To date there are few works that have been conducted in Mexico to assess the impact of climate change on genetic resources and landrace relatives associated to major crops of Mexico. One of the initial tasks to be performed is to determine the effect of changes in weather patterns on potential areas for cultivation or distribution of species and genotypes. Therefore the objective of this study was to evaluate the effect of climate change on potential niche distribution of conical race groups.

Materials and methods

Entries

The total numbers of entries considered by race for the analysis of this study are described in Table 1. The information was extracted from the database of passport

los patrones climáticos sobre las áreas potenciales de cultivo o distribución de las especies y genotipos. Por lo anterior el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del cambio climático sobre los nichos potenciales de distribución de las razas del grupo cónico.

Materiales y métodos

Accesiones

El número total de accesiones consideradas por raza para realizar los análisis de este estudio se describe en el Cuadro 1. La información se extrajo de la base de datos de pasaporte de razas de maíz generada a través de los proyectos CONABIO FZ002 y FZ016. Además se consideraron todas las accesiones registradas en el Banco de Germoplasma del INIFAP, así como en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Guadalajara, con relación al grupo cónico.

raças of maize generated through projects CONABIO FZ002 and FZ016. Besides all entries registered at the Germplasm Bank from INIFAP were considered, as well as in the Germplasm Bank of the University of Guadalajara, related to conical group.

Environmental information system and climate change

Monthly and annual data on precipitation, maximum temperature, minimum temperature and average temperature of the periods 1961-1990 (reference climatology) and 2041 to 2060 were used, to determine potential areas of distribution for conical group. These climate data were obtained from the data portal Earth System Grid (ESG) WorldClim and worked with raster images with a resolution of 2.5 arcmin in Idrisi Selva (Eastman, 2012) system. For the period 2041-2060 the GCMs HadGEM2-AO (Hadley) and MIROC5 (MIROC) were considered, under two of the four representative concentration pathways of greenhouse gases (rcp4.5 and rcp6.0).

Cuadro 1. Número de accesiones por raza, que fueron consideradas en la modelación de nichos potenciales de distribución.
Table 1. Number of entries by race that were considered in modeling potential niches distribution.

Raza	Accesiones	Raza	Accesiones
Arrocillo	512	Mushito	353
Cacahuacintle	129	Mushito de Michoacán	398
Chalqueño	1 386	Negrito	16
Palomero Toluqueño	104	Palomero de Chihuahua	17
Cónico	3 943	Cónico Norteño	2 022
Dulce	77	Elotes Cónicos	866

Sistema de información ambiental y de cambio climático

Se utilizaron los datos mensuales y anuales de precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima y temperatura media de los periodos 1961-1990 (climatología de referencia) y 2041-2060, para determinar las áreas potenciales de distribución del grupo cónico. Estos datos climáticos fueron obtenidos del portal de datos de Earth System Grid (ESG) de WorldClim y se trabajaron mediante imágenes raster con una resolución de 2.5 minutos de arco, en el sistema Idrisi Selva (Eastman, 2012). Para el período 2041-2060 se consideraron los modelos de circulación general HadGEM2-AO (Hadley) y MIROC5 (Miroc), bajo dos de las cuatro vías representativas de concentración de gases efecto invernadero (rcp4.5 y rcp6.0).

These models are part in climate modeling developed by the Coupled Model Inter comparison Project Phase 5 (CMIP5) (Taylor *et al.*, 2012). The rcp refer to radiative forcing expressed in $W m^{-2}$; assuming that this varies by increasing GHGs. rcp4.5 assumes a radiative forcing of $\sim 4.5 W m^{-2}$ and that GHG emissions will reach the peak around 2040 and then decline; while rcp6.0 consider a radiative forcing of $\sim 6 W m^{-2}$ with emissions that will reach the peak around 2080, also considering that thereafter there will be a reduction of emissions. The rcp2.6 and rcp8.5 pathways were not considered, since the first one assumes that radiative forcing will be $\sim 3 W m^{-2}$ and that global GHG emissions will reach the peak between 2010-2020, which it is considered unlikely and far from reality according to global emission trends.

Estos modelos forman parte en la modelación del clima desarrollado por el proyecto de inter-comparación de modelos acoplados fase 5 (CMIP5) (Taylor *et al.*, 2012). Los rcp se refieren al forzamiento radiativo expresado en $W m^{-2}$; asumiendo que éste varía al incrementar los GEI. El rcp4.5 asume un forzamiento radiativo de $\sim 4.5 W m^{-2}$ y que las emisiones de GEI llegarán a la cúspide alrededor del año 2040 para después disminuir; en tanto el rcp6.0 considera un forzamiento radiativo de $\sim 6 W m^{-2}$ con emisiones que llegarán a la cima alrededor del año 2080, considerando también que a partir de entonces habrá una reducción de emisiones. Las rutas rcp2.6 y rcp8.5 no fueron consideradas, ya que la primera asume que el forzamiento radiativo será de $\sim 3 W m^{-2}$ y que las emisiones globales de GEI llegarán a la cúspide entre los años 2010-2020, lo cual se considera poco probable y alejado de la realidad de acuerdo a las tendencias mundiales de emisiones.

En tanto el rcp8.5 supone que el forzamiento radiativo será $> 8.5 W m^{-2}$ y las emisiones seguirán aumentando durante el próximo siglo (Moss *et al.*, 2008), lo cual se considera un escenario incierto por el futuro lejano que se toma en cuenta. A partir de las variables climáticas básicas mencionadas se derivó una serie de variables adicionales para realizar el análisis Maxent de nichos potenciales de distribución tanto bajo condiciones de la climatología de referencia como para la climatología 2041-2060. El total de variables utilizadas es el siguiente: altitud, (m), precipitación acumulada promedio anual (mm), precipitación acumulada promedio junio-octubre (mm), precipitación acumulada promedio noviembre-abril (mm), temperatura media anual ($^{\circ}C$), Temperatura media mayo-octubre ($^{\circ}C$), temperatura media noviembre-abril ($^{\circ}C$), temperatura mínima media anual ($^{\circ}C$), temperatura mínima media mayo-octubre ($^{\circ}C$), temperatura mínima media noviembre-abril ($^{\circ}C$), temperatura máxima media anual ($^{\circ}C$), temperatura máxima media mayo-octubre ($^{\circ}C$), temperatura máxima media noviembre-abril ($^{\circ}C$), temperatura media del mes más frío ($^{\circ}C$), precipitación del mes más húmedo (mm), temperatura mínima media del mes más frío ($^{\circ}C$), temperatura media del mes más húmedo ($^{\circ}C$), temperatura máxima media del mes más cálido ($^{\circ}C$), fotoperiodo promedio mayo-octubre (h), oscilación térmica mayo-octubre ($^{\circ}C$).

Análisis de las áreas potenciales de distribución

La distribución potencial del grupo racial cónico se analizó mediante el modelo Maximum Entropy Species Distributions Modeling, Version 3.33k (Maxent). El algoritmo de este

While rcp8.5 assumes that radiative forcing will be $> 8.5 W m^{-2}$ and emissions will continue to rise over the next century (Moss *et al.*, 2008), which is considered an uncertain scenario for the distant future that is taken into account. From the basic climatic variables mentioned a number of additional variables were derived to perform Maxent analysis of niche distribution under both condition of climatology reference as for climatology 2041-2060. The total number of variables used is as follows: altitude (m), accumulated annual average precipitation (mm), average accumulated rainfall from June to October (mm), average accumulated rainfall from November to April (mm), average annual temperature ($^{\circ}C$), average temperature from May to October ($^{\circ}C$), average temperature from November to april ($^{\circ}C$), minimum annual mean temperature ($^{\circ}C$), minimum average temperature from May to October ($^{\circ}C$), minimum average temperature from November to April ($^{\circ}C$), maximum annual mean temperature ($^{\circ}C$), maximum average temperature from May to October ($^{\circ}C$), maximum average temperature from November to April ($^{\circ}C$), average temperature of the coldest month ($^{\circ}C$), precipitation of the moistest month (mm), average minimum temperature of the coldest month ($^{\circ}C$), average temperature of the wettest month ($^{\circ}C$), maximum average temperature of the hottest month ($^{\circ}C$), average photoperiod from May to October (h), temperature variation in May -October ($^{\circ}C$).

Analysis of potential distribution areas

The potential distribution of conical racial group was analyzed by Maximum Entropy Species Distributions Modeling, Version 3.33k (Maxent). The algorithm of this system was adapted by Steven J. Phillips and colleagues (Phillips and Dudík, 2008; Phillips *et al.*, 2006, 2009) to construct models of potential distribution. The Maxent system is a program to model species distributions using only presence data of the species (Elith *et al.*, 2011); the distribution of a species is represented by a probability function P on a set X of sites in the study area.

A model of P is constructed by a set of constraints derived from empirical data of the species presence. The restrictions are expressed as simple functions of known environmental variables. Maxent algorithm forces the average of each function of each variable to approximate the true mean of the variable in the areas of presence of the species. Of all

sistema fue adaptado por Steven J. Phillips y colaboradores (Phillips y Dudík, 2008; Phillips *et al.*, 2006, 2009) para la construcción de modelos de distribución potencial. El sistema MaxEnt es un programa para modelar las distribuciones de especies usando solamente datos de presencia de la especie (Elith *et al.*, 2011); la distribución de una especie se representa mediante una función de probabilidad P sobre un conjunto X de sitios en el área de estudio.

Se construye un modelo de P mediante un conjunto de restricciones derivado de datos empíricos de presencia de la especie. Las restricciones se expresan como funciones simples de variables ambientales conocidas. El algoritmo de MaxEnt obliga a que la media de cada función de cada variable se aproxime a la media real de la variable en las áreas de presencia de la especie. De todas las posibles combinaciones de funciones, se selecciona la que logra minimizar la función de entropía; la cual es medida con el índice de Shannon.

La expresión general de la función de probabilidad para *i* variables ambientales es:

$$P(x) = e^{\lambda f(x)} / Z\lambda$$

Donde: P(x)= función de probabilidad; λ = vector de coeficientes de ponderación; f = vector correspondiente de funciones de variables ambientales; Z= constante de normalización para asegurar que P(x) equivalga a la unidad.

Los valores P(x) así obtenidos, representan valores de idoneidad relativa para la presencia de la especie, constituyendo así la base de un modelo de distribución potencial. En la modelación Maxent, 75% de los registros de presencia fueron utilizados como puntos de entrenamiento y 25% como puntos de validación, además se utilizó el índice AUC (área bajo la curva), para evaluar el modelo estadístico, ya que éste índice es de los más utilizados para medir la calidad de los modelos (Moreno *et al.*, 2011). La complejidad del modelo puede ser controlada con la elección de las variables, además, Maxent presenta dentro de su configuración, un operador denominado "regularización de parámetros" que permite evitar la sobreposición de variables permitiendo evitar el efecto perjudicial de esto sobre la predicción (Phillips y Dudík, 2008).

La modelación MaxEnt de nichos de distribución se realizó tanto para el grupo racial cónico (todas las razas en conjunto) como para cada una de las razas de maíz que integran este

possible combinations of functions, it is selected the one that minimizes its entropy function; which is measured by Shannon index.

The general expression of the probability function for environmental variables *i* is:

$$P(x) = e^{\lambda f(x)} / Z\lambda$$

Where: P (x)= probability function; λ = vector of weights coefficient; f = corresponding vector of functions of environmental variables; Z= normalization constant to ensure that P(x) equals to unit.

The P(x) values thus obtained represent values of relative suitability for the presence of species, constituting the basis of a potential distribution model. In Maxent modeling, 75% of presence records were used as training points and 25% as validation points, the AUC ratio (area under the curve) was used to assess the statistical model, as this ratio is the most widely used to measure the quality of the models (Moreno *et al.*, 2011). The complexity of the model can be controlled by the choice of variables; also Maxent presents within its configuration, an operator named "regularization parameter" that helps avoid the overlapping of variables allowing avoid the detrimental effect of this on the prediction (Phillips and Dudík, 2008).

The Maxent modeling of niche distribution was performed for both conical racial groups (all races combined) as for each of the maize races that integrate this group. For conical racial groups were performed using rcp4.5 and rcp6.0 pathways in both GCM, while for particular races, was developed only for pathway rcp4.5. The modeling results were considered as percentages of environmental fitness and were grouped into five categories, which are named as follows: 0-20% (very low environmental fitness, AAMB); 20-40% (low environmental fitness, AAB), 40-60% (average environmental fitness, AAM), 60-80% (high environmental fitness, AAA) and 80-100% (very high environmental fitness, AAMA).

Results and discussion

Figure 1 shows the geographic distribution of entries from Conical Races Group. As can be seen, at present this racial group is present not only in the highlands of

grupo. Para el grupo racial cónico se realizó con las rutas rcp4.5 y rcp6.0 en ambos MCG, mientras que para las razas en particular se desarrolló sólo para la ruta rcp4.5. Los resultados de la modelación fueron considerados como porcentajes de aptitud ambiental y se agruparon en cinco categorías, las cuales se denominaron de la siguiente manera: 0-20% (aptitud ambiental muy baja, AAMB); 20-40% (aptitud ambiental baja, AAB), 40-60% (aptitud ambiental media, AAM), 60-80% (aptitud ambiental alta, AAA) y 80-100% (aptitud ambiental muy alta, AAMA).

Resultados y discusión

En la Figura 1 se puede apreciar la distribución geográfica de las accesiones de las razas del Grupo Cónico. Como puede verse, en la actualidad este grupo racial tiene presencia no sólo en las partes altas del Centro de México, sino que se ha dispersado a otras regiones agroecológicas, incluyendo el Norte de México, el Centro-Norte, el Occidente y la región Pacífico Sur, abarcando incluso áreas cercanas a zonas costeras de Michoacán. Esta distribución le ha permitido al grupo cónico, explorar condiciones agroecológicas diversas, lo que seguramente ha determinado su capacidad de adaptación a diferentes regiones (Chaplin III *et al.*, 1987) y condiciones climáticas incluso exacerbadas por el cambio climático (Jump y Peñuelas, 2005).

Con relación al análisis de nichos potenciales de distribución del grupo racial cónico, en la Figura 2 se muestra el gráfico de la curva operacional (curva ROC). Como puede verse, el valor de área bajo la curva (AUC) tanto para datos de entrenamiento como para datos de prueba, es alto y superior a 0.7, lo que de acuerdo con Elith *et al.* (2006), indica un buen ajuste y habilidad satisfactoria del modelo para clasificar la presencia del grupo cónico. Los valores de AUC por raza fueron: Palomero Toluqueño 0.994 y 0.992 para datos de entrenamiento y datos de prueba, respectivamente; Palomero de Chihuahua 0.994 y 0.999; Negrito 0.947 y 0.953; Mushito de Michoacán 0.992 y 0.98; Mushito 0.993 y 0.953; Elotes Cónicos 0.976 y 0.973; Dulce 0.973 y 0.98; Cónico 0.964 y 0.959; Cónico Norteño 0.961 y 0.955; Chalqueño 0.976 y 0.969; Cacahuacintle 0.993 y 0.991 y Arrocillo 0.992 y 0.993. Por lo anterior, todos los modelos fueron satisfactorios.

Central Mexico, but has spread to other agro-ecological regions, including Northern Mexico, Central-North, West and Pacific South regions, encompassing even near coastal areas of Michoacan. This distribution has allowed the conical group, explore different agro-ecological conditions, which has certainly given its adaptability to different regions (Chaplin III *et al.*, 1987) and even exacerbated climatic conditions by climate change (Jump and Peñuelas, 2005).

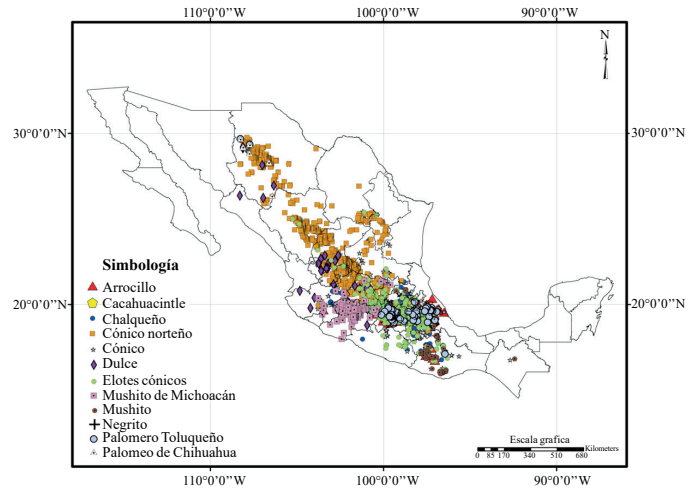


Figura 1. Distribución de accesiones de las razas del Grupo Cónico.

Figure 1. Distribution of entries from conical races group.

Regarding the analysis of potential niches distribution from conical racial group, in Figure 2 is shown the graph of the operational curve (ROC curve). As can be seen, the value of area under the curve (AUC) for both training data as for to test data, is high and superior to 0.7, which according to Elith *et al.* (2006) indicates a good fit and a satisfactory ability of the model to classify the presence of conical group. The AUC values by race were: Palomero Toluqueño 0.994 and 0.992 for training data and test data respectively; Palomero from Chihuahua 0.994 and 0.999; Negrito 0.947 and 0.953; Mushito from Michoacan 0.992 and 0.98; Mushito 0.993 and 0.953; Conical cob 0.976 and 0.973; Sweet 0.973 and 0.98; Conical 0.964 and 0.959; Conical Norteño 0.961 and 0.955; Chalqueño 0.976 and 0.969; Cacahuacintle 0.993 and 0.991 and Arrocillo 0.992 and 0.993. Therefore, all models were satisfactory.

Regarding the constituent variables of niches distribution model, the most significant were altitude (64.7%), accumulated precipitation annual average (12.1%) and photoperiod from May to October (9.9%). The results of the analysis of potential

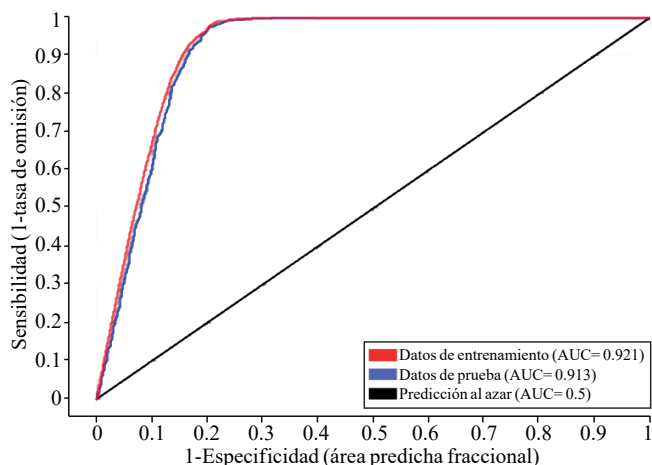


Figura 2. Gráfico de la curva operacional para el grupo racial cónico.

Figure 2. Graph of the operational curve for conical racial group.

Con relación a las variables constituyentes de los modelos de nichos de distribución, las más significativas y de mayor peso fueron altitud (64.7%), precipitación acumulada promedio anual (12.1%) y fotoperíodo de mayo-octubre (9.9%). Los resultados del análisis de nichos potenciales de distribución para el Grupo Racial Cónico, tanto para la climatología de referencia (1961-1990), como para los escenarios de cambio climático estudiados, se describen gráficamente en los mapas de la Figura 3. Como puede notarse en dicha figura, en todos los escenarios climáticos analizados sólo se reportaron cuatro de las cinco categorías previstas de aptitud ambiental, esto es aptitud ambiental muy baja, baja, media y alta. No se identificaron áreas con aptitud ambiental muy alta. Al analizar los mapas de la Figura 3, aparentemente todos los escenarios climáticos de modelación de nichos de distribución, reportan una distribución espacial similar de áreas con aptitud ambiental muy baja, baja, media y alta para el grupo cónico. Las áreas de aptitud ambiental alta se concentran mayormente en los estados de Puebla, México, Hidalgo, Tlaxcala, Distrito Federal y Querétaro, región que típicamente es conocida como el área original de distribución de las razas del Grupo Cónico (Kuleshov, 1930; Goodman and McK Bird, 1977; Sánchez, 2011).

Visualmente el resultado de la modelación a futuro (2041-2060) de áreas potenciales de distribución, realizada con los modelos Hadley y Miroc, es muy semejante entre sí y con relación a la climatología de referencia (1961-1990). Sin embargo, al cuantificar la superficie de las áreas con diferente aptitud ambiental (Figura 4), es notorio como el impacto del cambio climático del período 2041-2060 sobre la posible presencia del grupo cónico, varía de acuerdo con la ruta

niches distribution for Conical Racial Group, both for reference climatology (1961-1990), as for climate change scenarios studied are depicted graphically on maps in Figure 3. As can be seen in this figure, in all climate scenarios analyzed, only four of the five categories provided of environmental fitness were reported, this is very low, low, medium and high environmental fitness. No areas with high environmental fitness were identified. By analyzing the maps of Figure 3, apparently all climatic scenarios of niche distribution modeling, report similar spatial distribution of areas with very low, low, medium and high environmental fitness for conical group. Areas of high environmental fitness are largely concentrated in the states of Puebla, Mexico, Hidalgo, Tlaxcala, Mexico City and Querétaro, region that is typically known as the original area of distribution of Conical Group (Kuleshov, 1930; Goodman and McK Bird, 1977; Sánchez, 2011).

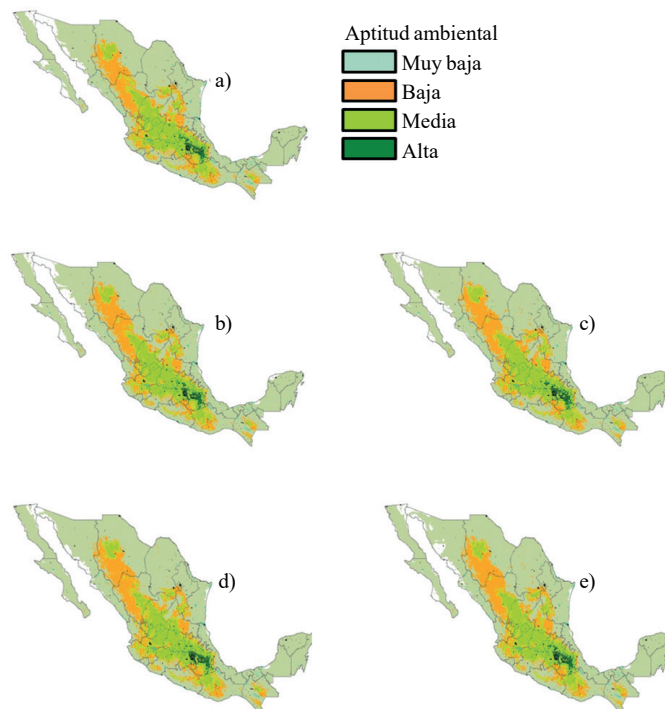


Figura 3. Nichos potenciales de distribución del grupo racial cónico bajo la climatología 1961-1990 (a) y la climatología 2041-2060: b) Modelo Hadley rcp4.5; c) Modelo Miroc rcp4.5; d) Modelo Hadley rcp6.0; y e) Modelo Miroc rcp6.0.

Figure 3. Potential Niches distribution of conical racial group under climatology from 1961-1990 (a) and climatology 2041-2060: b) Hadley rcp4.5; c) Miroc rcp4.5; d) Hadley rcp6.0; and e) Miroc rcp6.0.

Visually the result of future modeling (2041-2060) of potential distribution areas, performed with Hadley and Miroc models is very similar to each other and related to

representativa de concentración de gases efecto invernadero (rcp) y con el modelo de circulación general (MCG), aunque en este último caso parece haber mayor coincidencia. Considerando el escenario de referencia (1961-1990) existen 2 231 030 ha con aptitud ambiental alta para la presencia del grupo cónico, esto es sólo 1.1% de la superficie del territorio nacional, lo cual puede deberse a que las razas de este grupo racial se adaptan esencialmente a un ambiente subhúmedo templado o semiárido templado, el cual constituye entre 4 y 9% del territorio nacional (Medina *et al.*, 1998). A partir de la superficie con AAA (aptitud ambiental alta) para el Grupo Cónico en 1961-1990, con el cambio climático en 2041-2060 se esperaría un incremento de la superficie con esta aptitud ambiental tanto bajo el rcp4.5 como con el rcp6.0 en ambos MCG. Sin embargo, es en el escenario rcp4.5 cuando se obtiene el mayor porcentaje de incremento en superficie con AAA, ya que con el modelo Hadley se espera un incremento cercano a 6% y con el modelo Miroc un incremento cerca de 15% (Figura 4). Con el escenario rcp6.0, la superficie de AAA experimentaría un incremento de sólo 1.5 y 6% según los modelos Hadley y Miroc, respectivamente. Para la superficie con AAM (Aptitud ambiental media) el modelo Miroc reporta que para 2041-2060 se tendrá una desviación negativa en ambos rcp, esto es que predice una disminución de la superficie de esta condición ambiental. Con el modelo Hadley se obtuvo un índice de disminución en el escenario rcp4.5 y de ligero incremento con el escenario rcp6.0 (Figura 4).

Con relación a las categorías de AAB (aptitud ambiental baja) y AAMB (aptitud ambiental muy baja), éstas tienden a presentar índices de cambio (porcentajes) en superficie mayores y más positivos en la ruta rcp6.0 para el período 2041-2060. De acuerdo con lo anterior, la ruta rcp4.5 podría representar una climatología más favorable para la futura distribución y dispersión del grupo Racial Cónico, en tanto el rcp6.0 resultaría ser menos favorable.

Al comparar la superficie correspondiente a cada una de las condiciones de aptitud ambiental en los dos MCG, se puede apreciar el balance de los efectos que tendrá el cambio climático de 2041-2060 sobre las áreas potenciales de distribución de todas las razas que componen el grupo cónico (Cuadro 2). En el Cuadro 2 se agrupan las categorías de AAMB y AAB en una sola denominada AAB para fines de facilidad del manejo de la información y espacio. De acuerdo con esta información se puede notar que las predicciones de los modelos varían entre sí; sin embargo, en algunas razas coinciden en el sentido del porcentaje de cambio de la superficie potencial de distribución de las razas.

climatology reference (1961-1990). However, to quantify the surface areas with different environmental fitness (Figure 4), is notorious as the impact of climate change for the period 2041-2060 on the possible presence of conical group, varies according to the representative concentration pathway greenhouse gases (rcp) and with the general circulation model (GCM), although in the last cases seems to be more coincidence. Whereas the reference scenario (1961-1990) there are 2,231,030 ha with high environmental fitness for presence of conical group, this is only 1.1% of the national area, which may be because the races of this racial group essentially adapt to warm humid environment or semiarid temperate, which is between 4 and 9% of the country area (Medina *et al.*, 1998).

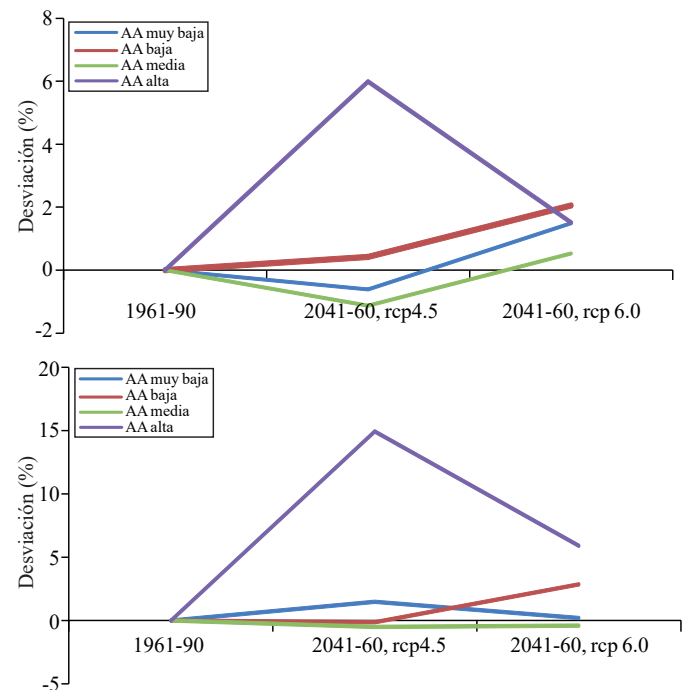


Figura 4. Porcentaje de variación en la superficie de cuatro categorías de aptitud ambiental para la presencia del grupo racial cónico en la climatología 2041-2060 de acuerdo con cuatro rutas de concentración de GEI (rcp) y dos MCG: HadGEM2-AO (arriba) y MIROC5 (abajo).

Figure 4. Percentage of variation on the surface of four categories of environmental fitness for presence of conical racial group in climatology from 2041-2060 according to four concentrations pathways of GHG (rcp) and two GCM: HadGEM2-AO (up) and MIROC5 (down).

From the surface with AAA (high environmental fitness) for Conical Group in 1961-1990, with climate change in 2041-2060 it would be expected an increase of surface

Cuadro 2. Superficie potencial (ha) de tres clases de aptitud ambiental para las razas del Grupo Cónico en 1961-1990, y, porcentaje de cambio de esta superficie en 2041-2060 según dos MCG: HadGEM2-AO (H) y MIROC5 (M) bajo el rcp 4.5.

Table 2. Potential surface (ha) of three clases of environmental fitness for conical group in 1961-1990, and, percentage change of this surface in 2041-2060 according to two GCM: HadGEM2-AO (H) and MIROC5 (M) under rcp 4.5.

Raza	Aptitud ambiental baja			Aptitud ambiental media			Aptitud ambiental alta		
	1961-1990	2041-2060		1961-1990	2041-2060		1961-1990	2041-2060	
	Superficie (ha)	H4.5	M4.5	Superficie (ha)	H4.5	M4.5	Superficie (ha)	H4.5	M4.5
Arrocillo	101 876 009	+0.1%	-3.4%	4 839 604	-21.9%	-15.5%	638 309	+14.2%	-3.8%
Cacahuacintle	58 992 024	-2.6%	+0.3%	2 808 914	+2.7%	-9.3%	1 790 680	-3.3%	+6.5%
Chalqueño	115 170 843	+2.5%	+4.6	7 720 225	-1.1%	+0.1%	2 200 482	-2.3%	-1.6%
Cónico Norteño	119 139 405	-2.5%	-3.3%	16 082 297	+4.4%	+5.4%	4 629 221	-12.1%	-4.3%
Dulce	142 226 853	-3.5%	-2.4%	18 955 546	-14.9%	-1.7%	11 971 802	-10.0%	+3.7%
Elotes Cónicos	98 859 413	+5.7%	+4.1%	8 058 838	-3.4%	-4.4%	3 239 920	-4.7%	+3.7%
Mushito de Michoacán	108 453 534	+6.6	+1.3	2 071 158	-6.7%	+0.6%	1 143 353	+14.5%	+3.2%
Mushito	80 545 812	-6.5%	+13.9%	3 551 755	-5.7%	-3.2%	2 075 816	-23.4%	-21.4%
Negrito	511 934 066	+2.2%	+0.4%	89 419 463	-12.7%	-4.4%	20 846 577	+0.9%	+9.9%
Palomero Toluqueño	56 188 196	-4.5%	+2.6%	3 609 780	-7.6%	-6.5%	1 706 678	+14.6%	-5.5%
Cónico	117 684 831	+0.1%	-2.5%	9 120 366	-2.0%	-0.2%	1 214 261	+5.5%	+8.5%
Palomero de Chihuahua	101 268 833	-4.8%	-1.2%	2 167 717	-2.9%	0.0%	2 559 275	+3.0%	-2.5%

Los modelos coinciden en 7 de 12 casos con relación al signo de cambio porcentual en el caso de la superficie con aptitud ambiental baja; en 8 de 12 casos para aptitud ambiental media y, en 6 de 12 casos para aptitud ambiental alta. En el resto de los casos los modelos señalan tendencias encontradas de cambio en la superficie con diferente aptitud ambiental. Esto denota la necesidad de utilizar un mayor número de MCG para poder determinar de manera más consistente los efectos del cambio climático a futuro o, señala la posible conveniencia de utilizar modelos ensamble que permitan emplear un consenso de modelos para llegar a una sola conclusión sobre el sentido en que el cambio climático impactaría en este caso a la distribución de las razas mexicanas de maíz.

De acuerdo con lo anterior, los resultados permiten llegar a conclusiones con cierto nivel de confianza sólo en los casos en que los modelos utilizados establecen coincidencia ya sea en la ganancia o pérdida de superficie con aptitud ambiental debido al cambio climático del período 2041-2060. De esta forma se puede señalar que para la raza Arrocillo la superficie con AAM se reducirá entre 15.5 y 21.9%; para la raza Chalqueño la superficie con AAA disminuirá entre 1.6 y 2.3%, mientras que la superficie con AAB se incrementará entre 2.5 y 4.6%. Para Cónico Norteño tanto la superficie con AAA como la superficie con AAB disminuirán entre 4.3-12.1% y 2.5-3.3%,

with this environmental fitness for rcp4.5 and rcp6 in both MCG. However, it is in rcp4.5 scenario when the largest percentage increase in surface with AAA is obtained, since with Hadley model an increase of close to 6% is expected and with MIROC an increase close to 15% (Figure 4). With rcp6.0 scenario, the surface of AAA would experiment an increase of just 1.5 and 6% according to Hadley and Miroc models, respectively. For the surface with AAM (average environmental fitness) Miroc reports that for 2041-2060 there will be a negative deviation in both rcp, i.e. that predicts a decrease of the surface for this environmental condition. With Hadley model a reduction index in rcp4.5 scenario and a slight increase with rcp6.0 scenaio (Figure 4) was obtained.

Regarding to categories of AAB (low environmental fitness) and AAMB (very low environmental fitness) these tend to have exchange rates (percentages) in older surfaces and more positive on pathway rcp6.0 for period 2041-2060. According to the above, the pathway rcp4.5 could represent a more favorable climatology for future distribution and dispersion of conical racial group, while rcp6.0 would be less favorable.

When comparing the corresponding surface to each of the conditions of environmental fitness in both GCM, it can be appreciated the balance of the effects that climate change will have in 2041-2060 on potential distribution areas of all races that make up the conical group (Table 2).

respectivamente; mientras que la superficie con AAM se incrementará 4.4 a 5.4%. La raza Dulce presenta cambios consistentes en AAB y AAM, con tasas de cambio negativo en ambos casos con valores de 2.4-3.5 y 1.7-14.9%, respectivamente. Para la raza Elotes Cónicos se espera una disminución de 3.4 a 4.4% en la superficie de AAM y un incremento de 4.1 a 5.7% en la superficie de AAB. Mushito de Michoacán presenta tendencias positivas de cambio en la superficie de AAB y AAA con tasas de cambio de 1.3-6.6% y 3.2-14.5%, respectivamente, señalando a éste como el caso en que el cambio climático de 2041-2060 favorecería en mayor magnitud a la posible dispersión de una raza del Grupo Cónico.

Lo anterior puede deberse a que la raza Mushito de Michoacán mantiene dentro de sus descriptores ecológicos un amplio rango altitudinal y térmico de adaptación, ya que se le encuentra desde los 200 hasta los 2 851 msnm y desde 14.1 a 28.6 °C de temperatura media del período primavera-verano (Ruiz *et al.*, 2013a); con ello el cambio climático y el incremento de temperatura que éste implica probablemente beneficiarán a esta raza de maíz. Para la raza Mushito los MCG señalan una pérdida de 3.2 a 5.7% en la superficie de AAM y de 21.4 a 23.4% en la superficie de AAA.

Para la raza Negrito se espera un incremento de la superficie de AAB de 0.4 a 2.2% y también un incremento de la superficie de AAA de entre 0.9 y 9.9%, con una disminución para la superficie de AAM de entre 4.4 y 12.7%. En cuanto a la raza Palomero Toluqueño destaca una disminución de la superficie de AAM de 6.5-7.6%, mientras que para la raza Cónico la disminución de superficie en esta condición ambiental sería de 0.2 a 2%, con un incremento de 5.5 a 8.5% en la superficie de AAA. Por último, para la raza Palomero de Chihuahua se tiene como única tasa de cambio consistente la de la superficie de AAB con una pérdida de 1.2 a 4.8%. La raza Cacahuacintle, no presenta ninguna tendencia de cambio consistente.

Considerando solamente el efecto del cambio climático 2041-2060 sobre la superficie de condición de AAA se podría decir que el cambio climático afectará negativamente a la distribución de las razas Chalqueño, Cónico Norteño y Mushito, mientras que afectará positivamente a las razas Mushito de Michoacán, Negrito y Cónico. En el resto de las razas, los resultados de tendencias de signo opuesto entre los modelos, no permiten concluir un efecto positivo o negativo del cambio climático sobre la distribución de éstas.

In Table 2 categories AAMB and AAB are grouped into one called AAB, as an easy form to handle information and space. According to this information it can be noted that the predictions of the models vary among themselves; however, in some races coincide in the sense of exchange rate of potential distribution surface of races.

Models coincide in 7 of 12 cases regarding to the sign of percentage change in the case of surface with low environmental fitness; in 8 of 12 cases for average environmental fitness and in 6 of 12 cases for high environmental fitness. In all other cases, the models show trends on surface change with different environmental fitness. This shows the need for a greater number of GCM to determine more consistently the effects of climate change in the future or, shows the possible convenience of using assembly models that allow using a consensus of models to reach one conclusion about the sense of how climate change would impact, in this case the distribution of Mexican maize races.

According to the above, the results allow concluding with some level of confidence only in cases where the models used establish coincidence either gains or loss of surface with environmental fitness due to climate change from 2041-2060. Thus it can be noted that the surface for Arrocillo race with AAM will reduce between 15.5 and 21.9%; for Chalqueño race the surface with AAA will decline between 1.6 and 2.3%, while the surface with AAB will increase between 2.5 and 4.6%. For Conical Norteño both surface with AAA as surface with AAB will decrease between 4.3-12.1% and 2.5-3.3%, respectively; while the surface with AAM will increase 4.4 to 5.4%. Sweet race presents consistent changes in AAB and AAM, with negative exchange rates in both cases with values of 2.4-3.5 and 1.7-14.9%, respectively. For Conical cob race is expected a decrease from 3.4 to 4.4% in surface of AAM and an increase from 4.1 to 5.7% in surface of AAB. Mushito from Michoacan presents positive trends of change in surface of AAB and AAA exchange rates of 1.3-6.6% and 3.2-14.5%, respectively, pointing to this as the case in which climate change from 2041-2060 would favor in greater magnitude the possible dispersion of Conical Group.

The latter might be due to Mushito from Michoacan remains within its ecological descriptors a wide altitudinal and thermal adaptation range, since it is found from 200 to 2851 masl and from 14.1 to 28.6 °C average temperature for spring-summer period (Ruiz *et al.*, 2013a.); thus climate

Dado que las razas de maíz seguramente seguirán cultivándose por lo general en tierras de uso agrícola, el panorama para las razas del Grupo Cónico que resultaron con disminución en superficie con AAA y AAM resulta ser más adverso aún, ya que si se realiza el análisis de nichos de distribución considerando solamente las áreas agrícolas del país, la superficie potencial de distribución de dichas razas podría reducirse significativamente. Para el caso de estas razas es necesario señalar la necesidad de diseñar estrategias de conservación, para proteger y evitar la pérdida de estos recursos genéticos del maíz.

Conclusiones

El cambio climático del período 2041-2060 incrementará la superficie con aptitud ambiental alta para la distribución del grupo racial cónico de maíz. A este respecto es más favorable el panorama que se presentaría bajo la ruta rcp4.5 que bajo la ruta rcp6.0 de emisiones y concentración de gases efecto invernadero. Existen diferencias inter-raciales con relación al efecto del cambio climático sobre la superficie de aptitud ambiental alta, media y baja para la distribución de las razas del grupo cónico. Las razas que mayormente se beneficiarán del cambio climático 2041-2060 serán, Mushito de Michoacán, Negrito y Cónico, mientras que las que resultarán más afectadas en su potencial de distribución y dispersión serán Chalqueño, Cónico Norteño y Mushito. Para el caso de estas razas, es necesario señalar la necesidad de diseñar estrategias de conservación en un futuro mediato, para proteger y evitar la pérdida de estos recursos genéticos del maíz.

Se advierte cierto grado de divergencia entre los resultados obtenidos al utilizar los escenarios climáticos con los modelos HadGEM2-AO y MIROC5.

Literatura citada

- Anderson, E. and Cutler, H. C. 1942. Races of *Zea mays* L. Their recognition and classification. *Ann. Mo. Bot. Gard.* 29:69-88.
- Chapin III., F. S.; Bloom, A. J.; Field, C. B. and Waring, R. H. 1987. Plant responses to multiple environmental factors. *BioScience*, 37(1):49-57.
- Comisión Nacional de Biodiversidad (CONABIO). 2014. Razas de maíz de México/Biodiversidad Mexicana. <http://www.biodiversidad.gob.mx/usos/maices/razas2012.html>.

change and temperature increase that this implies, it probably will favor this maize race. For Mushito race, GCM points out a loss of 3.2 to 5.7% on surface of AAM and 21.4 to 23.4% on surface of AAA.

For Negrito race an increase of surface of AAB from 0.4 to 2.2% and also an increase in surface of AAA between 0.9 and 9.9%, with a decrease for surface of AAM between 4.4 and 12.7% is expected. Regarding Palomero Toluqueño highlights a reduction of surface of AAM from 6.5-7.6%, while for Conical race the decrease of surface on this environmental condition would be 0.2 to 2%, with an increase of 5.5 to 8.5% in the surface of AAA. Finally, for Palomero from Chihuahua, it only has as consistent exchange rate the surface of AAB with a loss of 1.2 to 4.8%. Cacahuacintle race, does not present any consistent trend of change.

Considering only the effect of climate change 2041-2060 on the surface of AAA could be said that climate change will adversely affect the distribution of Chalqueño, Conical Norteño and Mushito races, while it would affect positively Mushito from Michoacán, Negrito and Conical races. In the rest of the races, the results of trends of opposite sign between models do not allow to conclude a positive or negative effect of climate change on the distribution of these.

Since maize races are likely to continue being cultivated in agricultural land, the outlook for Conical Group that resulted with reduction in surface with AAA and AAM will turn even more adverse, because if the analysis of niches distribution is performed considering only the agricultural areas of the country, the potential distribution surface of these races could be reduced significantly. In the case of these races is necessary to point out the need to design conservation strategies to protect and prevent the loss of these genetic resources of maize.

Conclusions

Climate change from period 2041-2060 will increase the surface with high environmental fitness for distribution conical maize. In this regard the most favorable outlook that would be present under rcp4.5 pathway than under rcp6.0 pathway of emissions and concentrations of greenhouse gases. There are inter-racial differences regarding the effect of climate change on surface of high environmental

- Cutforth, H. W. and Shaykewich, C. F. 1989. Relationship of development rates of corn from planting to silking to air and soil temperature and to accumulated thermal units in a prairie environment. *Can. J. Plant Sci.* 69:121-132.
- Durán, P. N.; Ruiz, C. J. A.; González, E. D. R. y Ramírez, O. G. 2014. Impact of climate change on grasses cultivation potential of three altitudinal strata-agricultural lands of Mexico. *AJAR*. 9(18):1396-1406.
- Eastman, J. R. 2012. Idrisi selva manual, manual version 17. Clark Labs, Clark University. Worcester, 10 Mass, USA. 322 p.
- Elith, J.; Graham, C. H.; Anderson, R. P.; Dudík, M.; Ferrier, S.; Guisan, A.; Hijmans, R. J.; Huettmann, F.; Leathwick, J. R.; Lehmann, A.; Li, J.; Lohmann, L. G.; Loiselle, B. A.; Manion, G.; Moritz, C.; Nakamura, M.; Nakazawa, Y.; Overton, J. M.; Peterson, A. T.; Phillips, S. J.; Richardson, K.; Scachetti-Pereira, R.; Schapire, R. E.; Soberon, J.; Williams, S.; Wisz, M. S. and Zimmermann, N. E. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*. 29:129-151.
- Elith, J.; Phillips, S. J.; Hastie, T.; Dudík, M.; Chee, Y. E. and Yates, C. J. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*. 17:43-57.
- Goodman, M. M. and McK Bird, R. 1977. The races of maize. IV. Tentative grouping of 219 Latin American races. *Econ. Bot.* 31:204-221.
- Jump, A. S. and Peñuelas, J. 2005. Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change. *Ecol. Letters*. 8(9):1010-1020.
- Kuleshov, N. N. 1930. Maíces de México, Guatemala, Cuba, Panamá y Colombia (según las colecciones de N. S. Bukasov). *In: las plantas cultivadas de México, Guatemala y Colombia. Traducción al Español por Jorge León. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1981. 173 p.*
- 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.
- Moreno, R.; Zamora, R.; Molina, J. R.; Vásquez, A. y Herrera, M. 2011. Predictive modeling of microhabitats for endemic birds in south Chilean temperate forest using maximum entropy (Maxent). *Ecol. Informat.* 6:364-370.
- Moss, R.; Babiker, M.; Brinkman, S.; Calvo, E.; Carter, T.; Edmonds, J.; Elgizouli, I.; Emori, S.; Erda, L.; Hibbard, K.; Jones, R.; Kainuma, M.; Kelleher, J.; Lamarque, J. F.; Manning, M.; Matthews, B.; Meehl, J.; Meyer, L.; Mitchell, J.; Nakicenovic, N.; O'Neill, B.; Pichs, R.; Riahi, K.; Rose, S.; Runci, P.; Stouffer, R.; Detlef, van V.; Weyant, J.; Wilbanks, T.; van Ypersele, J.P.; and Zurek, M. 2008. Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts and response strategies. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, 132 p.
- Phillips, S. J. and Dudík, M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31:161-175.
- Phillips, S. J.; Anderson, R. P. and Schapire, R. E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Model.* 190:231-259.
- fitness, medium and low for distribution of conical races. Races that would benefit the most from climate change 2041-2060 will be Mushito from Michoacan, Negroito and Conical, while those who will be most affected in their potential distribution and dispersion will be Chalqueño, Conical Norteño and Mushito. In the case of these races, it is necessary to note the need to design conservation strategies in the near future, to protect and prevent the loss of these genetic resources of maize.
- A given degree of divergence between the results obtained using climate scenarios with HadGEM2-AO and MIROC5 is noticed.
- End of the English version*
-
- 
- Ruiz, C. J. A.; Sánchez, G. J. J. and Goodman, M. M. 1998. Base temperature and heat unit requirement of 49 Mexican maize races. *Maydica*. 43:277-282.
- Ruiz, C. J. A.; Durán, P. N.; Sánchez, G. J. J.; Ron, P. J.; González, E. D. R.; Medina, G. G. and Holland, J. B. 2008. Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 maize races. *Crop Sci.* 48:1502-1512.
- Ruiz, C. J. A.; Hernández, C. J. M.; Sánchez, G. J. J.; Ortega, C. A.; Ramírez, O. G.; Guerrero, H. M. J.; Aragón, C. F. H.; Vidal, M. V. A. y De la Cruz, L. L. 2013a. Ecología, adaptación y distribución actual y potencial de las razas mexicanas de maíz.. INIFAP-CIRPAC-Campo Exp. Centro Altos de Jalisco. Libro técnico Núm. 5. Tepatitlán de Morelos, Jalisco. 159 p.
- Ruiz, C. J. A.; Sánchez, G. J. J.; Hernández, C. J. M.; Willcox, M. C.; Ramírez, O. G.; Ramírez, D. J. L. y González, E. D. R. 2013b. Identificación de razas mexicanas de maíz adaptadas a condiciones deficientes de humedad mediante datos biogeográficos. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(16):829-842.
- Sánchez, G. J. J. 1989. Relationships among the Mexican races of maize. Tesis PhD North Carolina State University, Raleigh. 187 p.
- Sánchez, G. J. J. 2011. Diversidad del maíz y el Teocintle. Informe preparado para el proyecto: recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 98 p.
- Smith, M. E.; Castillo, G. F. and Gómez, F. 2001. Participatory plant breeding with maize in Mexico and Honduras. *Euphytica*, 122:551-565.
- Taylor, K. E.; Stouffer, R. J. and Meehl, G. A. 2012. An Overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society.* 93(4):485-498.