










Original Article/Artículo Original

Conditioning factors in the distribution of palomero toluqueño maize and alternatives for its conservation

Factores condicionantes en la distribución de maíz palomero toluqueño y alternativas para su conservación

Edgardo Bautista-Ramírez¹ , Jesús A. Cuevas-Sánchez² , Amalio Santacruz-Varela¹ ,
Enrique Hernández-Leal³ , César del Ángel Hernández-Galeno⁴ ,
Aurelio Hernández-Bautista¹ , Rosalí Gómez-Maldonado² 

¹ Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco, km 36.5. Montecillo, C. P. 56230, Texcoco, Estado de México, México.

² Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 carretera México-Texcoco, CP 56230, Chapingo, Estado de México, México.

³ Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Norte de Puebla. Av. José Luis Martínez Vázquez No. 2000, C.P. 73310, Jicolapa, Zacatlán, Puebla, México.

⁴ INIFAP, Campo Experimental Iguala. Iguala de la Independencia, Guerrero. Carretera Iguala-Tuxpan km 2.5, C. P. 40000, Iguala, Guerrero, México.

Cite this paper/Como citar este artículo: Edgardo Bautista-Ramírez, Jesús A. Cuevas-Sánchez, Amalio Santacruz-Varela, Enrique Hernández-Leal, César del Ángel Hernández-Galeno, Aurelio Hernández-Bautista, Rosalí Gómez-Maldonado. (2018). Conditioning factors in the distribution of palomero toluqueño maize and alternatives for its conservation. *Revista Bio Ciencias* 5(nesp2), e476 doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.05.nesp.e476>



ABSTRACT

Palomero Toluqueño is considered as an endangered maize race. The objective of this study was to analyze the conditioning factors of the presence of this race in the State of Mexico, to suggest alternatives for its conservation and exploitation, using distribution areas modeling and ethnobotanical exploration as a tool. Potential areas were estimated with MaxEnt, and could be superimposed with those proposed by CONABIO. In January and February 2017 an ethnobotanical exploration was carried out in the areas where MaxEnt estimated probabilities higher than 0.61 for the presence of maize Palomero Toluqueño race, with the respondent-driven sampling method. Fifteen accessions were obtained from Mazahua and Otomí groups that preserve this race by a combination of favorable social and environmental factors. The threat of disappearance of the race will remain unless new strategies are found to promote its conservation and exploitation. Distribution models were determined to be useful in the assessment of potential areas of cultivation, but not in the planning of harvests since the decision of sowing involves, besides favorable ecological

RESUMEN

Palomero Toluqueño se considera una raza de maíz en peligro de desaparecer. El objetivo de este estudio fue analizar los factores que condicionan la presencia de esta raza en el Estado de México, para plantear alternativas de conservación y aprovechamiento, usando como herramientas la modelación de áreas de distribución y la exploración etnobotánica. Las áreas potenciales se estimaron con MaxEnt y se empalmaron con las propuestas por la CONABIO. En enero y febrero de 2017 se realizó una exploración etnobotánica en las áreas donde MaxEnt estimó probabilidades mayores a 0.61 para la presencia de maíz Palomero Toluqueño con el método de muestreo "respondent-driven sampling". Se obtuvieron 15 colectas de los grupos Mazahua y Otomí que conservan esta raza por una combinación de factores sociales y ambientales favorables. La amenaza de que la raza desaparezca permanecerá mientras no se encuentren estrategias que fomenten su conservación y aprovechamiento. Se determinó que los modelos de distribución son útiles en la estimación de áreas potenciales para el cultivo, pero no para la planeación de colectas ya que la decisión de su siembra involucra, además de condiciones ecológicas favorables, la conjugación de aspectos sociales y culturales que propicien su cultivo y aprovechamiento, por lo que el mejoramiento participativo y la difusión de la raza en ferias de semillas serían herramientas útiles para la conservación *in situ*.

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: March 23rd 2018.

Accepted/Aceptado: July 4th 2018.

Available on line/Publicado: November 26th 2018.

*Corresponding Author: César del Ángel Hernández-Galeno, INIFAP, Carretera Iguala-Tuxpan km. 2.5, Iguala de la Independencia, Guerrero, México. C. P. 40000, hernandez.cesar@inifap.gob.mx, Celular 5951149368 Oficina: 5538718700 ext. 86518, enlace electrónico de la institución: <http://www.inifap.gob.mx/SitePages/Inicio.aspx>.

conditions, the combination of social and cultural aspects that promote their cultivation and exploitation; therefore, participatory improvement and promotion of the race in seed fairs would be useful tools for *in situ* conservation.

KEY WORDS

Zea mays L., native maize, potential areas, ethnobotany, conservation.

Introduction

In order to conserve biodiversity, understanding how species are distributed and which environmental aspects are decisive is necessary (Newbold, 2010). Therefore, distribution models have been used, which are based on the hypothesis that sample data covers the whole ecological range of the species or race (Sánchez-Fernández et al., 2011), as well as specific features of the area of cultivation (van Proosdij et al., 2016); however, despite the many applications they have, distribution models simply remain as incomplete representations of reality (Seoane & Bustamante, 2001).

To be able to consider databases of harvests and modeling as useful tools in decision making, they have to involve data from geo-referencing and be based on well-established methods (Scheldeman & Zonneveld, 2010); for instance, planning harvests and *in situ* conservation of 32 species of wild relatives of potato were performed from online databases associated to worldwide research community (Castañeda-Álvarez et al., 2015). Determining priority areas for harvesting and conservation of sorghum in Eastern Africa was performed with the information from ICRISAT gene bank (Upadhyaya et al., 2017). In the case of maize in Mexico, Ruíz et al. (2013) used passport data of accessions available on the CONABIO webpage and they correlated them with temperature, precipitations and elevation to determine potential area for each race, allowing setting out *in situ* conservation works for each one.

Human activity is an important aspect that has altered distribution patterns of some species and determines their presence or absence in viable or inviable sites for their survival and persistence (López-Sandoval et al., 2015); however, that species must necessarily present plasticity among its natural traits, as well as a wide diversity of usages, such as maize (Vargas, 2014). Only in Mexico, maize richness is clustered into 59 races (Sánchez et al., 2000), which are due to heterogeneous groups of farmers that cultivated different populations of

PALABRAS CLAVE

Zea mays L., maíces nativos, áreas potenciales, etnobotánica, conservación.

Introducción

Para conservar la biodiversidad es necesario entender cómo se distribuyen las especies y cuáles aspectos del ambiente son determinantes (Newbold, 2010). Para ello, se han utilizado los modelos de distribución, los cuales se basan en el supuesto de que los datos de las muestras cubren el rango ecológico completo de la especie o raza (Sánchez-Fernández et al., 2011), así como las características específicas del área de estudio (van Proosdij et al., 2016); sin embargo, a pesar de las numerosas aplicaciones que tienen, los modelos de distribución siguen siendo simplemente una representación incompleta de la realidad (Seoane & Bustamante, 2001).

Para poder considerar las bases de datos de colectas y modelaciones como herramientas útiles en la toma de decisiones, éstas deben involucrar datos georreferenciados y estar basadas en métodos bien establecidos (Scheldeman & Zonneveld, 2010); por ejemplo, la planeación de colectas y conservación *in situ* de 32 especies de parientes silvestres de papa fueron realizadas a partir de bases de datos en línea asociadas a la comunidad mundial de investigación (Castañeda-Álvarez et al., 2015). La determinación de áreas prioritarias para la colecta y conservación de sorgo en países de África oriental se realizó con la información del banco de genes del ICRISAT (Upadhyaya et al., 2017). En el caso de maíz en México, Ruíz et al. (2013) utilizaron los datos pasaporte de las accesiones disponibles en la página de la CONABIO y los correlacionaron con la temperatura, precipitación y elevación para la determinación de las áreas potenciales de cada raza, lo que permitió plantear trabajos de conservación *in situ* para cada una.

La actividad humana es un aspecto importante que ha alterado los patrones de distribución de ciertas especies y que determina su presencia o ausencia en sitios viables o inviables para su supervivencia y persistencia (López-Sandoval et al., 2015); sin embargo, es necesario que dicha especie tenga plasticidad en sus características naturales, además de una gran diversidad de usos, como es el caso del maíz (Vargas, 2014). Tan solo en México, la riqueza de maíces se agrupa en 59 razas (Sánchez et al., 2000), las cuales se deben a los grupos heterogéneos de agricultores que han

this species in multiple agro-ecological conditions (Mera, 2009); however, in the landlots of many farmers this diversity is decreasing in an accelerated and worrying way (Arias *et al.*, 2007; Dyer *et al.*, 2014), therefore, it is necessary to understand the relationship that the diverse cultural groups hang on to with maize races, using ethnobotanical exploration as a tool (Hernández, 1972); allowing to generate conservation strategies.

Palomero Toluqueño maize race has 45 accessions sampled mainly in the states of: Mexico, Puebla and Tlaxcala (CONABIO, 2011). Potential distribution areas of this race, estimated with average annual cumulative precipitation (mm), annual average temperature (°C), annual average minimum temperature (°C), annual maximum temperature (°C), maximum temperature of the warmest month (°C), minimum temperature of the coldest month (°C), annual humidity and elevation index (msnm), were located in mid-north of the state of Mexico, the whole state of Tlaxcala, the center of Puebla and Southern Hidalgo (Ruíz *et al.*, 2013; CONABIO, 2015); however, these modellings did not consider human activity, which can be an important factor of variation. Therefore, performing an ethnobotanical exploration is necessary to confirm the presence of maize Palomero Toluqueño race in potential assessed areas. The objective of this study was to analyze conditioning factors of the presence of maize Palomero Toluqueño race in its distribution areas within the state of Mexico, in order to generate conservation schemes, favor its genetic improvement and exploitation.

Material and methods

Potential areas assessment

To demarcate the study area and to be able to identify climatic groups associated with Palomero Toluqueño race, a delimitation of potential areas was performed, by means of the following methods:

- a) The first group of polygons was obtained from National Commission for the Knowledge and Use of Biodiversity (CONABIO) webpage in SHP format (CONABIO, 2015) in ArcGis 10.3, picture was cut to obtain only the part corresponding to the state of Mexico.
- b) The second group of polygons was generated by means of the MaxEnt system (maximum entropy) that models areas from real distribution data with bioclimatic variables (Phillips *et al.*,

cultivado diferentes poblaciones de esta especie en múltiples condiciones agroecológicas (Mera, 2009); sin embargo, en las parcelas de muchos productores esta diversidad disminuye de modo acelerado y preocupante (Arias *et al.*, 2007; Dyer *et al.*, 2014), por lo que es necesario entender la relación que guardan los diversos grupos culturales con las razas de maíz, utilizando como herramienta la exploración etnobotánica (Hernández, 1972), lo que permitiría generar estrategias de conservación.

La raza de maíz Palomero Toluqueño cuenta con 45 accesiones, colectadas en los estados de México, Puebla y Tlaxcala, principalmente (CONABIO, 2011). Las áreas de distribución potenciales de esta raza, estimadas con la precipitación acumulada anual promedio (mm), temperatura media anual (°C), temperatura mínima media anual (°C), temperatura máxima anual (°C), temperatura máxima del mes más cálido (°C), temperatura mínima del mes más frío (°C), índice de humedad anual y de elevación (msnm) se ubicaron en el centro-norte del Estado de México, todo el estado de Tlaxcala, centro de Puebla y sur de Hidalgo (Ruíz *et al.*, 2013; CONABIO, 2015); sin embargo, estas modelaciones no consideraron la actividad humana, que puede ser un factor de variación importante. Por lo que es necesario realizar una exploración etnobotánica que confirme la presencia de Palomero Toluqueño en las áreas estimadas como potenciales. El objetivo de este trabajo fue analizar los factores que condicionan la presencia de la raza de maíz Palomero Toluqueño en sus áreas de distribución dentro del Estado de México, con el fin de generar esquemas de conservación, favorecer su mejoramiento genético y aprovechamiento.

Material y métodos

Estimación de áreas potenciales

Para delimitar la zona de estudios y poder identificar los grupos climáticos asociados con la raza Palomero Toluqueño se realizó la delimitación de las áreas potenciales por los siguientes métodos:

- a) El primer grupo de polígonos, se obtuvo de la página web de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) en formato SHP (CONABIO, 2015) en ArcGis 10.3, la imagen se recortó para obtener sólo la parte correspondiente al Estado de México.
- b) El segundo grupo de polígonos fue generado mediante el sistema MaxEnt (máxima entropía) que modela áreas a partir de datos de distribución real con variables bioclimáticas (Phillips *et al.*,

2006). Information of accessions of Palomero Toluqueño race was obtained from CONABIO (2011), accessions were refined to avoid duplicity, keeping accessions originating from Mexico City, State of Mexico, Hidalgo, Tlaxcala and Puebla as useful information. Environmental variables that were considered were 19 bioclimatic variables and elevation, with a resolution of 2.5 minutes available on WorldClim-Global Climate Data website version 1.4. The model that generates MaxEnt was according the probability of finding Palomero Toluqueño race, ranging from 0 to 0.99. In Arc Gis 10.3 groups of polygons were generated with probabilities from 0.3 to 0.4, from 0.41 to 0.5, from 0.51 to 0.6 and from 0.61 to 0.74. The value of 0.74 was the highest probability of incidence of Palomero Toluqueño race in the state of Mexico.

Exploration was initiated in locations of municipalities where the probability of finding Palomero Toluqueño was higher than 0.61 with MaxEnt and that corresponded with estimations made by CONABIO (CONABIO, 2015). Climatic groups associated with potential areas and sampling points were identified in Arc Gis 10.0, superimposing the layers of climate of the state of Mexico (Casa, 1997) with harvest projections and potential areas.

Population sampling

In 2017, germplasm was sampled, trying to obtain at least 5.0 kg of sample in ears of maize, the five most representative ears being used for its racial identification, based on attributes indicated by Wellhausen *et al.* (1951). The rest of the sample was threshed and set up for its preservation in the National Bank of Vegetal Germplasm of the Autonomous University of Chapingo. Each accession went with its passport data for its correct identification and geographical location.

Ethnobotanical exploration

Ethnobotanical exploration was based on what Hernández (1972) proposed. This activity was performed in January and February 2017, since in this period producers already harvested and have stored ears of maize, making field identification and material sampling easier.

In locations where it was possible, a local representative was initially visited; with his orientation and occasional

2006). La información de las accesiones de la raza Palomero Toluqueño se obtuvo de la CONABIO (2011), las accesiones fueron depuradas para evitar duplicidad, quedando como información útil accesiones procedentes de la Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla. Las variables ambientales que se consideraron fueron 19 bioclimáticas y la elevación, con resolución de 2.5 minutos disponibles en el portal de WorldClim-Global Climate Data, versión 1.4. La modelación que generó MaxEnt estuvo en función de la probabilidad de encontrar a la raza Palomero Toluqueño, que va de 0 a 0.99. En Arc Gis 10.3 se generaron grupos de polígonos con probabilidades de 0.3 a 0.4, 0.41 a 0.5, 0.51 a 0.6 y de 0.61 a 0.74. El valor de 0.74 fue la probabilidad más alta de incidencia de Palomero Toluqueño en el Estado de México.

La exploración se inició en las localidades de los municipios donde la probabilidad de encontrar a Palomero Toluqueño fuera mayor a 0.61 con MaxEnt y que correspondieran con las estimaciones hechas por la CONABIO (CONABIO, 2015). La identificación de los grupos climáticos asociados con las áreas potenciales y los puntos de colecta se realizó en Arc Gis 10.0, empalmado las capas de climas del Estado de México (Casa, 1997) con las proyecciones de colectas y las áreas potenciales.

Colecta de poblaciones

En el año 2017 se realizó una colecta de germoplasma, tratando de obtener al menos 5.0 kg de muestras en mazorcas, las cinco mazorcas más representativas se utilizaron para su identificación racial, con base en los atributos indicados por Wellhausen *et al.* (1951). El resto de la muestra se desgranó y acondicionó para su resguardo en el Banco Nacional de Germoplasma Vegetal de la Universidad Autónoma Chapingo. Cada accesión se acompañó de sus datos pasaporte para su correcta identificación y ubicación geográfica.

Exploración etnobotánica

La exploración etnobotánica se basó en lo propuesto por Hernández (1972). Esta actividad se realizó en enero y febrero de 2017, debido a que en este periodo los productores ya cosecharon y tienen mazorcas almacenadas, lo que facilitó la identificación en campo y la colecta de materiales.

En los sitios donde fue posible, se visitó inicialmente a un representante de la localidad; con su orientación y

accompaniment, producers that sowed similar maize to those sampled (Palomero Toluqueño race) were visited. Interviews were realized only to producers having ears of maize presenting any similarity with Palomero Toluqueño race and giving their consent to use the provided information for research purposes.

Survey was performed using a semi-structured questionnaire as a guide, with the following points: a) general identification (producer's name, age, academic level, sex, indigenous group, property type and years sowing maize Palomero Toluqueño race), b) characteristics related to seeds (cultivated surface, utilities, cultural aspects related to the maize of interest, main virtues, date of sowing and harvesting, problems in production and production costs) and, c) selection criteria of the seed for sowing.

Sampling method

The "respondent-driven sampling" (RDS) method was used, which is a variant of chain or "snowball" sampling. This method is focused on the study of populations which are not registered in sampling frames and do not offer special difficulties to make contact with (Mantecón et al., 2008). Its application required initial informers that in this study were representatives of the localities or contacts of researchers that worked in the region of interest. The first localities of exploration were those with the highest probability of incidence of maize Palomero Toluqueño race (from 0.61 to 0.74). This sampling method led to the exploration of areas where the probability of incidence was low (less than 0.3) and that key informers suggested to visit.

Data analysis

Racial identification was performed at Postgraduates College and according to this, accessions which did not correspond to Palomero Toluqueño race were discarded, allowing to project in ArcGis 10.0 only those that presented distinctive characteristics of the race.

A synoptic table was made where the information pointed out by producers about seed utility, main attributes and selection criteria were included. For the variables of elevation, producer's age, years of sowing of the Palomero Toluqueño race, cultivated surface and production costs, descriptive variables were estimated (minimum and maximum values, mean and standard deviation). In addition, dates of sowing and harvesting that were used for production cycle assessment of the race were added.

acompañamiento ocasional se visitó a los productores que sembraron maíces similares a las mazorcas que se llevaban de muestra (raza Palomero Toluqueño). Las entrevistas sólo se realizaron a productores que tuvieran mazorcas con alguna similitud a la raza Palomero Toluqueño y que dieran su consentimiento para utilizar la información proporcionada para fines de investigación.

La encuesta se realizó usando como guía un cuestionario semiestructurado con los siguientes puntos: a) identificación general (nombre del productor, edad, escolaridad, sexo, grupo indígena, tipo de propiedad y años de siembra del maíz palomero), b) características relacionadas con la semilla (superficie cultivada, formas de uso, aspectos culturales ligados al maíz de interés, principales virtudes, fecha de siembra y cosecha, problemas en la producción y costos de producción) y, c) criterios de selección de la semilla para siembra.

Método de muestreo

Se utilizó el método "respondent-driven sampling" (RDS), que es una variante del muestreo en cadena o bola de nieve. Este método está orientado al estudio de poblaciones que no son registradas en marcos muestrales y que no ofrecen especial dificultad para ser contactadas (Mantecón et al., 2008). Su aplicación requirió de informantes iniciales, que en esta investigación fueron los representantes de las localidades o contactos de investigadores que han trabajado en la región de interés. Las primeras localidades de exploración fueron aquellas con mayor probabilidad de incidencia de la raza Palomero Toluqueño (0.61 a 0.74). Este método de muestreo llevó a explorar áreas donde la probabilidad de incidencia fuera baja (menor a 0.3) y que los informantes clave sugirieron visitar.

Análisis de la información

La identificación racial se realizó en el Colegio de Postgraduados y con base en ella se descartaron accesiones que no correspondieron a la raza Palomero Toluqueño, lo que permitió proyectar en ArcGis 10.0 sólo aquellas que sí cumplieron con las características distintivas de la raza.

Se elaboró un cuadro sinóptico donde se incluyó la información que señalaron los productores respecto a la forma de uso, los principales atributos y los criterios de selección de semilla. Para las variables elevación, edad del productor, años de siembra de la raza Palomero Toluqueño, superficie cultivada y los costos de producción se estimaron variables descriptivas (valor mínimo y máximo, media y desviación estándar). Adicionalmente, se agregaron las fechas de siembra y de cosecha que se utilizaron para estimar el ciclo de producción de la raza.

Results and discussion

Potential distribution areas of maize Palomero Toluqueño race

Potential distribution areas proposed by CONABIO (CONABIO, 2015) included more than half of 125 municipalities of the state of Mexico. With MaxEnt, the probability of finding Palomero Toluqueño was detected to be higher than 0.61 in only 18 municipalities of the studied region (Figure 1). Ethnobotanical exploration studies were initiated in those municipalities, since it was where areas of estimation of both prediction methods overlapped.

The marked difference among the areas considered as potential and estimated by the two indicated technics must be attributed to the statistical method that substantiates both of them. Areas proposed by CONABIO (CONABIO, 2015) were based on works of Perales & Golicher (2011), who used Generalized Additive Models (GAM), estimating the most approximate areas to the distribution of the effective ecological niche, while MaxEnt is a model based on presence, generating a spatial distribution of the basic ecological niche of the race (Zaniewski *et al.*, 2002).

The estimation of potential areas with MaxEnt was performed considering the whole national territory where the maximum probability was 0.99, located in the state of Tlaxcala (data not shown), while the maximum value in the state of Mexico was 0.74. The value of the cumulative threshold (CT) was 0.99, therefore model reliability generated with MaxEnt is excellent according to Araújo *et al.* (2005) classification, while areas considered as potential by CONABIO (CONABIO, 2015) are suitable for sowing maize Palomero Toluqueño race, its use as a tool for harvest planning has to be taken with precaution, since those areas are very vast to cover, significantly increasing requested time and investment.

Harvest data that were used for estimating potential areas with MaxEnt are the same used by CONABIO (CONABIO, 2015); that data presented limitation, such as: 1) After 1969, only two accessions of Palomero Toluqueño race were registered in the state of Mexico, in San Felipe del Progreso and San Marcos Tlalzapán, municipality of San Bartolo Morelos (sampled in 2009) and 2) the region with the highest number of harvests in the state of Mexico (8 accessions) were made up by Oztolotepec, San Mateo

Resultados y discusión

Áreas potenciales de distribución de la raza Palomero Toluqueño

Las áreas de distribución potencial propuestas por la CONABIO (CONABIO, 2015) abarcaron más de la mitad de los 125 municipios del Estado de México. Con MaxEnt se detectó una probabilidad de encontrar a Palomero Toluqueño mayor a 0.61 en sólo 18 municipios de la región de estudio (Figura 1). Fue en estos últimos donde se iniciaron los trabajos de exploración etnobotánica, ya que en ellos se traslaparon las áreas de estimación de los dos métodos de predicción.

La marcada diferencia entre las áreas consideradas como potenciales y estimadas por las dos técnicas indicadas puede ser atribuible al método estadístico que las fundamenta. Las áreas propuestas por la CONABIO (CONABIO, 2015) se basaron en los trabajos de Perales & Golicher (2011), los cuales utilizaron Modelos Aditivos Generalizados (GAM), que estiman las áreas más aproximadas a la distribución del nicho ecológico efectivo, mientras que MaxEnt es un modelo basado en presencia, que generó una distribución espacial del nicho ecológico básico de la raza (Zaniewski *et al.*, 2002).

La estimación de las áreas potenciales con MaxEnt se realizó considerando todo el territorio nacional donde la máxima probabilidad fue de 0.99 ubicada en el estado de Tlaxcala (datos no mostrados), mientras que el valor máximo en el Estado de México fue de 0.74. El valor del umbral acumulativo (CT) fue de 0.99, por lo que la confiabilidad del modelo que se generó con MaxEnt es excelente de acuerdo con la clasificación de Araújo *et al.* (2005), mientras que las áreas que considera la CONABIO (CONABIO, 2015) como potenciales son las idóneas para la siembra de maíz Palomero Toluqueño, su uso como herramienta en la planeación de colectas debe ser tomado con reserva, pues para este fin, estas áreas son muy extensas de cubrir, lo que aumenta considerablemente el tiempo y la inversión requerida.

Los datos de colectas que se utilizaron para la estimación de las áreas potenciales con MaxEnt son los mismos que utilizó la CONABIO (CONABIO, 2015); estos datos presentaron limitantes como: 1) después de 1969 sólo se registraron dos accesiones de Palomero Toluqueño en el Estado de México, en San Felipe del Progreso y San Marcos Tlalzapán municipio de San Bartolo Morelos (colectadas en el año 2009) y 2) La región con mayor número de colectas en el Estado de México (8 accesiones) lo conformaron los

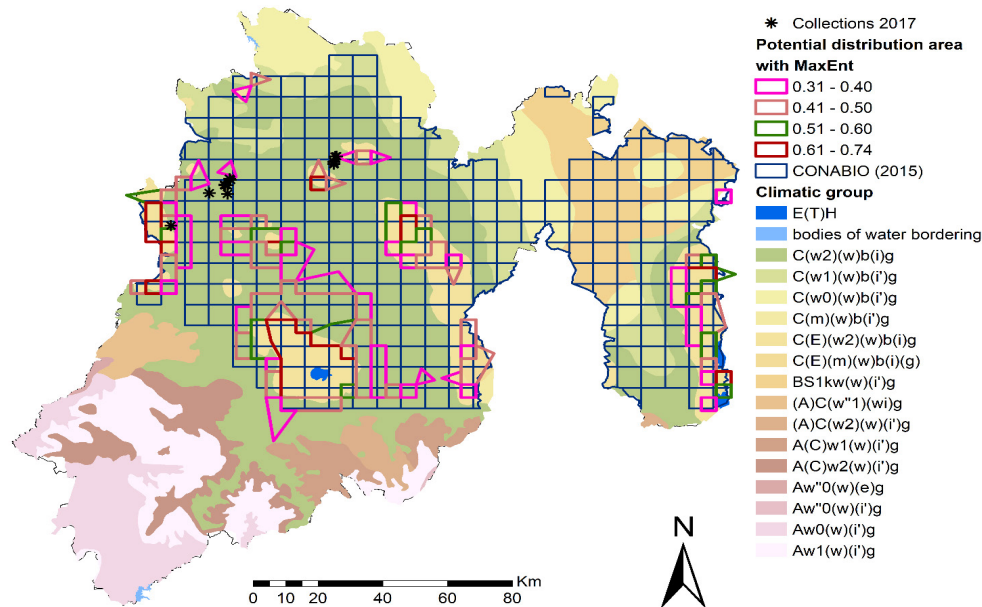


Figure 1. Estimation of potential distribution areas of maize Palomero Toluqueño race in the State of Mexico.

Figura 1. Estimación de áreas potenciales de distribución del maíz Palomero Toluqueño en el Estado de México

Atenco, Toluca and Villa del Carbón municipalities with harvests from 1943 to 1954.

The 37 accessions, used while estimating potential areas, covered the complete ecological range of the race to use them for modelling their distribution (Sánchez-Fernández *et al.*, 2011); however, their unbalanced distribution made MaxEnt consider the municipalities close to Toluca as those with the highest probability to find the race, not necessarily indicating that Palomero Toluqueño race is present in these areas, since no accession was found in those municipalities between January and February 2017. The human factor favors the presence or absence of the race, in agreement with what mentioned by Hernández (2007) and López-Sandoval *et al.* (2015), who observed a determining influence of human activity in the distribution of cultivated species (races in the present case).

Potential distribution areas of Palomero Toluqueño were in a semi-cold sub-humid climate, with a percentage of winter precipitations lesser than 5 mm, long summer, isothermal, and the highest temperature before the summer solstice (C(E)(w₂)(w)b(i)g), while harvests of 2017 were found in temperate, sub-humid climate with

municipios de Otzolotepec, San Mateo Atenco, Toluca y Villa del Carbón con colectas de 1943 a 1954.

Las 37 accesiones utilizadas en la estimación de las áreas potenciales cubrían el rango ecológico completo de la raza para usarlos en la modelación de su distribución (Sánchez-Fernández *et al.*, 2011); sin embargo, la distribución descompensada de éstas, hizo que MaxEnt considerara a los municipios cercanos a Toluca como los de mayor probabilidad para encontrar a la raza, lo que no necesariamente indica que Palomero Toluqueño siga presente en estas áreas, pues en su búsqueda durante enero y febrero del 2017 no se encontró ninguna accesión en estos municipios. El factor humano propicia la presencia o ausencia de la raza, lo que concuerda con lo que mencionan Hernández (2007) y López-Sandoval *et al.* (2015) quienes ya habían observado la influencia determinante de la actividad humana en la distribución de las especies (en el presente caso razas) cultivadas.

Las áreas de distribución potencial de Palomero Toluqueño estuvieron en un clima semifrío, subhúmedo, con porcentaje de precipitación invernal menor a 5 mm, verano largo, isotermal y la temperatura más elevada se presenta antes del solsticio de verano (C(E)(w₂)(w)b(i)g), mientras que las colectas de 2017 se encontraron en clima templado,

long summer, winter rain lesser than 5.0 %, iso-thermal and the highest temperature before the summer solstice $C(w_2)(w)b(i)g$. The previously said does not imply any change in the adaptability of the race, since Mazahuas and Otomí producers, who gave seeds in 2017, mentioned they have been sowing them for more than 50 years. Therefore, if those communities had been visited during the forties and fifties, samples of this race would have been found as a part of the diversity of the cultivated maize by both cultural groups.

Material sampling and ethnobotanical exploration

Sampling and material racial identification

Among the 15 collected accessions of maize Palomero Toluqueño race, seven were with the Otomíes group, in San Marcos Tlalzapán community, San Bartolo Morelos municipality and eight with the Mazahuas group, in San Felipe del Progreso and San José del Rincón municipalities (Figure 1), this wealth represents 30 % of all existing harvests done since the forties until 2009 (CONABIO, 2011). During the harvest, three Otomíes communities were visited, but in none of them maize Palomero Toluqueño race were found. Therefore, the variation in the number of future harvests with Otomíes communities will probably be in San Marcos community, Tlalzapán, San Bartolo Morelos municipality, while with Mazahuas communities, this variation may happen in the region where they live, although there will always be the possibility to find this race in other localities of the state of Mexico. Regarding this, Bellon *et al.* (2009) mentioned that there is a dynamic process in maize sowing by farmers, depending more on cultural and social aspects than environmental ones (Perales & Golicher, 2014).

Uses, virtues and selection of maize

Palomero Toluqueño race

Diverse studies highlight the relationship between maize wealth and indigenous groups (Ureta *et al.*, 2013; Perales & Golicher, 2014; Orozco-Ramírez & Astier, 2016). In the state of Mexico, maize Palomero Toluqueño race was sampled between Mazahuas and Otomíes communities, who used it for elaborating diverse foods (Table 1). From those two groups, only Mazahuas pointed out that the popcorn they used as ornament in religious celebration more than 30 years ago were made from this maize race. This tradition persists, however, popcorn is now made from commercial Palomero maize and only the popping method is conserved (mud with white sand pot). The previously said may be one of the various situations contributing to the diminution in the sowing frequency of the race, since

subhúmedo con verano largo, lluvia invernal inferior al 5.0 %, isotermal y temperatura más elevada antes del solsticio de verano $C(w_2)(w)b(i)g$. Esto no significa cambio alguno en la adaptabilidad de la raza, ya que los productores Mazahuas y Otomíes que donaron semilla en 2017 mencionaron que ésta la han sembrado por más de 50 años. Por tanto, de haber visitado dichas comunidades en los años 1940s y 1950s se hubieran encontrado muestras de esta raza como parte de la diversidad de maíces que cultivaban los dos grupos culturales.

Colecta de materiales y exploración etnobotánica

Colecta e identificación racial de materiales

De las 15 accesiones colectadas de maíz Palomero Toluqueño, siete fueron con los Otomíes, en la comunidad de San Marcos Tlalzapán, municipio de San Bartolo Morelos y ocho con los Mazahuas, en los municipios de San Felipe del Progreso y San José del Rincón (Figura 1), esta riqueza representa el 30 % de todas las colectas existentes de la raza hechas desde los años 1940s hasta el 2009 (CONABIO, 2011). Durante la colecta se visitaron otras comunidades Otomíes, pero en ninguna de ellas se encontró maíz Palomero Toluqueño. Por tanto, es probable que la variación en el número de colectas futuras con los Otomíes sea dentro de la comunidad de San Marcos, Tlalzapán, municipio de San Bartolo Morelos, mientras que con los mazahuas esta variación se puede dar en la región que ellos habitan, aunque siempre habrá la posibilidad de encontrar a esta raza en otras localidades del Estado de México. Al respecto, Bellon *et al.* (2009) mencionan que existe un proceso dinámico en la siembra de los maíces por los agricultores; dicha dinámica depende de aspectos culturales y sociales más que de los ambientales (Perales & Golicher, 2014).

Usos, virtudes y selección del maíz Palomero Toluqueño

Existen diversos estudios que destacan la relación entre la riqueza de maíces y los grupos indígenas (Ureta *et al.*, 2013; Perales & Golicher, 2014; Orozco-Ramírez & Astier, 2016). En el Estado de México la raza Palomero Toluqueño se colectó entre los Mazahuas y Otomíes, quienes lo han utilizado en la elaboración de diversos alimentos (Tabla 1). De estos dos grupos, sólo los Mazahuas señalaron que las palomitas que usaban como adornos en festividades religiosas hace más de 30 años se hacían a partir de este maíz. Esta tradición persiste, sin embargo, ahora las palomitas son hechas de maíces palomeros comerciales y sólo se conserva el método de reventado (ollas de barro con arena blanca). Lo anterior puede ser una de las varias situaciones que contribuyeron a la disminución en la frecuencia de siembra de la raza, pues los productores

Mazahua producers pointed out that in the past, the sowing of this maize race was higher, for the necessity they had for ornamental popcorn, in addition to its performance, which is why its sowing allowed fulfilling necessities and were progressively substituted by other maize races over time (Bellon *et al.*, 2009).

Wellhausen *et al.* (1951) report the use of maize Palomero Toluqueño race in tortilla and popcorn elaboration. The main consumption of this maize is currently in tortillas, which has caused that in San Marcos Tlaxalpan, material of more floury grains is associated to the race to improve this food texture (Gámez *et al.*, 2014). The previously said might be the cause of why a high number of materials with more floury grains are observed in harvests done in this locality. In the case of Mazahua localities, the sowing of different types of maize is done to obtain distinct type of grains, allowing other uses, in addition to improve the quality of tortillas made with maize Palomero Toluqueño race, as Castillo-Nonato & Chávez-Mejía (2013) reported in San Felipe del Progreso communities, close to the sampled localities.

mazahuas señalaron que en el pasado la siembra de este maíz era mayor, por la necesidad que tenían de palomitas para adornar, además de su rendimiento, por lo que su siembra permitía la satisfacción de necesidades, que con el tiempo se fueron substituyendo por otros maíces (Bellon *et al.*, 2009).

Wellhausen *et al.* (1951) reportaron el uso de Palomero Toluqueño en la elaboración de tortillas y palomitas. En la actualidad, el consumo principal de este maíz es en tortillas, lo que ha hecho que en San Marcos Tlaxalpan a la raza se le asocie con materiales de granos más harinosos para mejorar la textura de este alimento (Gámez *et al.*, 2014). Lo anterior puede ser la causa de que las colectas hechas en esta localidad se observara un gran número de materiales con granos más harinosos. En el caso de los pueblos mazahuas, la siembra de diversos tipos de maíz se hace para obtener distintos tipos de granos, lo que permite otros usos, además de mejorar la calidad de la tortilla hecha de maíz Palomero Toluqueño, tal como lo reportaron Castillo-Nonato & Chávez-Mejía (2013) en comunidades de San Felipe del Progreso, cercanas a las localidades de colecta.

Table 1.
Uses, virtues and selection criteria of maize Palomero Toluqueño race as described by two cultural groups in the State of Mexico.

Tabla 1.
Usos, virtudes y criterios de selección de maíz Palomero Toluqueño, descrito por dos grupos culturales en el Estado de México.

Cultural Group	Uses	Main virtues	Seed selection criteria
Mazahua	Elaboration of tortillas, tamales, atoles and gorditas; in addition, husks for tamal and animal feed for livestock are obtained.	Heavy seed, easy shelling, adaptation to local climatic conditions, specialty uses and yield.	Representative ear of the variety, large ears, with the maximum number of kernel rows and without rotten kernels. Large, elongated and heavy seeds.
Otomí	Elaboration of tortillas, tamales and atoles, use of husks for making tamales, feed for livestock as both grain and fodder.	Heavy seed, easy shelling, adaptation to local climatic conditions, specialty uses and fodder production.	Large ears, with the maximum number of kernel rows and creamy color. Large, elongated and heavy seeds.

The fact that, in seed selection for sowing, producers consider the distinct characteristics of their materials as part of them (Table 1). Therefore, this must be the cause of the race maintaining for various generations, as they are those maintaining this diversity (Perales *et al.*, 2005). The loss of identity of Palomero Toluqueño race will not occur at seed selection; the disappearance of this race could occur if producers decide to replace it for materials with characteristics satisfying their necessities (Bellon *et al.*, 2009).

El hecho de que en la selección de semillas para la siembra los productores consideren como parte de ellas a las características distintivas de sus materiales (Cuadro 1), debe ser la causa del mantenimiento de la raza por varias generaciones, ya que son ellos los que mantienen esta diversidad (Perales *et al.*, 2005). La pérdida de identidad de la raza Palomero Toluqueño no se dará en la selección de semilla; la desaparición de esta raza será porque los productores decidan reemplazarlo por materiales con características que den satisfacción a sus necesidades (Bellon *et al.*, 2009).

Height distribution of harvests and social aspects of producers

Temperature decreases in an average of 0.65 °C every 100m of elevation increase (García, 1983), therefore there will be a difference of 1.2°C between maximum and minimum elevations of harvested localities (Table 2), while the thermic difference in origin points of accessions reported by CONABIO (CONABIO, 2011) for the state of Mexico would be of 3.4°C, due to a minimum elevation of 2400 m and a maximum of 2926 m. The difference between the two groups is just 2 °C, therefore adaptability of the race in the state of Mexico was not modified, although sample localities and potential areas were in a different climatic group, as described in previous paragraph.

The presence of maize Palomero Toluqueño race in the state of Mexico until 2017 is mainly due to the tradition of Mazahua and Otomí groups, since none of the social variables presented in Table 2 showed any trend. The combination of social and environmental factors allowed to decide the type of material that will be sowed in the next crop season (Perales & Golicher, 2014).

In the group that provide the seeds, only one Otomí producer mentioned his intention of replacing his maize Palomero Toluqueño race for other material in the next crop season, while the rest (14 producers) mentioned they maintain the same seed since it ensures food for their families and animals, in addition to their preference for its quality, although they do not discard the possibility of sowing other maize with higher performance, therefore the threat of disappearance of the race will be kept permanent until strategies promoting conservation, improvement and exploitation of the race are found.

The work with farmers protecting maize Palomero Toluqueño race in San Marcos Tlaxalpan community functioned until public politics changed (Gámez *et al.*, 2014). Due to the lack of founding, it was not possible to perform a continuous study guiding in the operation and avoiding its loss, as suggested by Hernández (2007). Therefore, it is necessary to explore other alternatives of *in situ* conservation, considering satisfying producers' needs as a fundamental axis.

The participative improvement and promotion of the race in seed fairs are alternatives that must be encouraged, since maize diversity can be reinforced

Distribución altitudinal de las colectas y aspectos sociales de los productores

En promedio, la temperatura disminuye 0.65 °C por cada 100 m que aumente la elevación (García, 1983), por lo que habrá una diferencia de 1.2 °C entre la elevación máxima y la mínima de las localidades de colecta (Tabla 2), mientras que la diferencia térmica en los puntos de procedencia de las accesiones reportadas por la CONABIO (CONABIO, 2011) para el Estado de México sería de 3.4 °C, debido a que la elevación mínima fue de 2400 m y la máxima de 2926 m. La diferencia entre los dos grupos es de apenas 2 °C, por lo que la adaptabilidad de la raza en el Estado de México no se ha modificado, aunque las localidades de colectas y áreas potenciales estén en diferente grupo climático, como se describió en párrafos anteriores.

La presencia de la raza Palomero Toluqueño en el Estado de México hasta el año 2017 se debe en gran parte a la tradición de los grupos Mazahua y Otomí, ya que ninguna de las variables sociales que se presentaron en el Cuadro 2, mostró alguna tendencia. Son las combinaciones de los factores sociales y ambientales las que permiten decidir el tipo de material que será sembrado en el siguiente ciclo agrícola (Perales & Golicher, 2014).

En el grupo de donantes de semilla, sólo un productor Otomí mencionó su intención de cambiar su maíz Palomero Toluqueño por otro material en el siguiente ciclo agrícola, mientras que el resto (14 productores) mencionó que mantendrá su semilla pues les asegura alimento para su familia y animales, además de preferirlo por su calidad, aunque no descartan la posibilidad de sembrar otros maíces de mayor rendimiento, por lo que la amenaza de que la raza desaparezca seguirá siendo constante hasta en tanto no se encuentren estrategias que fomenten la conservación, el mejoramiento y el aprovechamiento de la raza.

El trabajo con los campesinos protectores de la raza Palomero Toluqueño en la comunidad de San Marcos Tlaxalpan funcionó hasta que las políticas públicas cambiaron (Gámez *et al.*, 2014). Debido a la falta de financiamiento, tampoco ha sido posible hacer un estudio continuo que guíe en la marcha y evite su pérdida, tal como lo sugirió Hernández (2007), por lo que se hace necesario explorar otras alternativas de conservación *in situ*, considerando como eje fundamental la satisfacción de necesidades de los productores, ya que es la principal causa de que se siga sembrando dicho maíz.

El mejoramiento participativo y el fomento de la raza en ferias de semillas son alternativas que deben ser impulsadas,

Table 2.
General description of the studied variables.

Tabla 2.
Descripción general de las variables de estudio.

Variable	Minimum	Maximum	Average	Standard deviation
Elevation (masl)	2703	2902	2746.60	53.88
Farmers age (years)	28	73	52.73	12.18
Schooling	None	Middle School	-	-
Years planting Palomero Toluqueño maize	5	50	17.5	11.91
Cultivated area (ha)	0.25	2	0.95	0.91
Planting date	Early March	Late April	-	-
Harvest date	Mid October	Late December	-	-
Production cost (\$)†	9,000	12,000	10,400	800

†: Mexican pesos

†: Pesos mexicanos

through selection done by farmers, according to Dzib-Aguilar *et al.* (2016), contributing to maintaining *in situ* diversity. Moreover, with interested farmers, attributes favoring the burst of the race may be enhanced, giving a commercial value to this material and promoting its sowing by other famers.

Conclusions

Harvest data of more than 60 years of maize Palomero Toluqueño race did not allow the current distribution of this material, since they did not cover the totality of the ecological range of the race, therefore it is necessary to explore and search this material in the rest of the states where it was once sampled. Analyzed social variables were not determining for sowing maize Palomero race, Mazahua people as well as Otomíes people take the decision of the material to sow, and of the extension allocated to its cultivation by the combination of social and cultural aspects, therefore participative improvement and promotion of the race in seed fairs could be useful tools for *in situ* conservation.

Acknowledgements

To "Tortilla de Maíz Mexicana A. C." Foundation for the financial support given for ethnobotanical exploration and material sampling.

pues de acuerdo con Dzib-Aguilar *et al.* (2016) la diversidad de maíces se puede reforzar a través de la selección hecha por los agricultores, lo que contribuiría al mantenimiento de la diversidad *in situ*. Además, con los productores interesados se pueden potenciar los atributos que propician el reventado de la raza, dando valor de uso comercial a este material, lo que fomentará su siembra por otros productores.

Conclusiones

Los datos de colectas de más de 60 años de la raza Palomero Toluqueño no permitieron estimar la distribución actual de este material, ya que no cubrían la totalidad del rango ecológico de la raza, por lo que es necesario explorar y buscar este material en el resto de los estados donde alguna vez se colectó. Las variables sociales analizadas no son determinantes en la siembra de los maíces palomeros, tanto los Mazahuas como los Otomíes toman la decisión del material a sembrar, así como la extensión dedicada a su cultivo por la conjugación de aspectos sociales y culturales, por lo que el mejoramiento participativo y el fomento de la raza en ferias de semillas podrían ser herramientas útiles para la conservación *in situ*.

Agradecimientos

A la Fundación Tortilla de Maíz Mexicana A. C. por el apoyo económico otorgado para la exploración etnobotánica y colecta de materiales.

References

- Araújo, M. B., Pearson, R. G., Thuiller, W. and Erhard M. (2005). Validation of species-climate impact models under climate change. *Global Change Biology* 11: 1504–1513. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01000.x>
- Arias, L. M., Latournerie, L., Montiel, S. and Sauri, E. (2007). Cambios recientes en la diversidad de maíces criollos de Yucatán, México. *Universidad y Ciencia* 23(1): 69-73. <https://www.redalyc.org/html/154/15423107/>
- Bellon, M. R., Barrientos, P. A. F., Colunga, G. M. P., Perales, H., Reyes, A. J. A., Rosales, S. R. and Zizumbo, V. D. (2009). Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas. In J. Sarukhán (Coord) *Capital natural de México. vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México. pp: 355-382. https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20II/II08_Diversidad%20y%20conservacion%20de%20recursos%20geneticos%20en%20pl.pdf
- Casa, A. G. (1997). Climas del Estado de México. Extraído del proyecto H103 Sistema de información geográfica sobre la herpetofauna del Estado de México. Escala 1:500000. Departamento de Zoología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México. [Last checked January 2nd 2017] <https://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Castañeda-Álvarez, N. P., de Haan, S., Juárez, H., Khoury, C. K., Achicanoy, H. A., Sosa, C. C., Bernau, V., Salas, A., Heider, B., Simon, R., Maxted, N. and Spooner, D. M. (2015). *Ex situ* conservation priorities for the wild relatives of potato (*Solanum* L. section *Petota*). *PLoS One* 10(4) e0122599. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122599>
- Castillo-Nonato, J. & Chávez-Mejía, C. (2013). Caracterización campesina del manejo y uso de la diversidad de maíces en San Felipe del Progreso, Estado de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 10: 26–38. <https://www.scielo.org.mx/pdf/asd/v10n1/v10n1a2.pdf>
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2011). Distribución de maíces nativos y número de razas registradas por celda. [Last checked: december 5th 2017] <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2015). Palomero Toluqueño en México. Distribución potencial de la raza de maíz. [Last Checked: January 2nd 2017] <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Dyer, G. A., López-Feldman, A., Yúnez-Naude, A. and Taylor, J. E. (2014). Genetic erosion in maize's center of origin. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111: 14094–14099. <https://doi.org/10.1073/pnas.1407033111>
- Dzib-Aguilar, L.A., Ortega-Paczka, R. and Segura-Correa, J. C. (2016). Conservación *in situ* y mejoramiento participativo de maíces criollos en la península de Yucatán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 19: 51-59 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93945700002>
- García de M. E. (1983). *Apuntes de Climatología*. Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F. https://www.researchgate.net/publication/31864885_Apuntes_de_climatologia_E_Garcia_de_Miranda
- Gómez, V. A. J., de la O, O. M., Santacruz, V. A. and López, S. H. (2014). Conservación *in situ*, manejo y aprovechamiento de maíz Palomero Toluqueño con productores custodios. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 1519–1530. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000800015
- Hernández, X. E. (1972). Exploración etnobotánica en maíz. *Fitotecnia Latinoamericana* 8: 46-51. *En: Xolocotzia*, Tomo II. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 751-756 pp.
- Hernández X., E. (2007). La investigación de huarache. *Revista de Geografía Agrícola* 39: 113–116. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75703909>
- López-Sandoval, J. A., López-Mata, L., Cruz-Cárdenas, G., Vibrans, H., Vargas, O. and Martínez, M. (2015). Modelado de los factores ambientales que determinan la distribución de especies sinantrópicas de *Physalis*. *Botanical Sciences* 93(4): 755-764. <https://doi.org/10.17129/botsci.192>
- Mantecón, A., Juan, M., Calafat, A., Becoña, E. and Román, E. (2008). Respondent-Driven Sampling: un nuevo método de muestreo para el estudio de poblaciones visibles y ocultas. *Adicciones revista versión online* 20(2): 161-170. <https://www.adicciones.es/index.php/adicciones/article/view/280/280>

- Mera, O. L. M. (2009). Diversidad y distribución reciente del maíz en México. *En: Origen y diversificación del maíz. Una revisión analítica*. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México. 69-82 pp.
- Newbold, T. (2010). Applications and limitations of museum data for conservation and ecology, with particular attention to species distribution models. *Progress in Physical Geography. First published January*. 34: 3–22. <https://doi.org/10.1177/0309133309355630>
- Orozco-Ramírez, Q. & Astier, M. (2016). Socio-economic and environmental changes related to maize richness in Mexico's central highlands. *Agriculture and Human Values*. <https://doi.org/10.1007/s10460-016-9720-5>.
- Perales, H. & Golicher, D. (2011). Modelos de distribución para las razas de maíz en México y propuesta de centros de diversidad y de provincias bioculturales. Informe técnico preparado para la CONABIO. México. Octubre 2011
- Perales, H. and Golicher, D. (2014). Mapping the diversity of maize races in Mexico. *Plos One* 9(12): e114657 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114657>
- Perales, H. R., Benz, B. F. and Brush, S.B. (2005). Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102: 949–954. <https://doi.org/10.1073/pnas.0408701102>.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. and Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Ruiz C., J. A., Ortega, C. A., Ramírez, O. G., Guerrero, H. M. J. and Sánchez, G. J. J. (2013). Distribución actual y potencial de las razas mexicanas de maíz. *En: Diversidad y Distribución del Maíz nativo y sus Parientes Silvestres en México*. Colegio de Postgraduados. México. 175-231 pp.
- Sánchez, G. J. J., Goodman, M. M. and Stuber, C.W. (2000). Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54: 43–59. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02866599>
- Sánchez-Fernández, D., Lobo, J.M., Hernández-Manrique, O. L. (2011). Species distribution models that do not incorporate global data misrepresent potential distributions: a case study using Iberian diving beetles: regional data misrepresent potential distributions. *Diversity and Distributions* 17:163–171. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00716.x>
- Seoane, J. & Bustamante, J. (2001). Modelos predictivos de la distribución de especies: una revisión de sus limitaciones. *Ecología* 15:9–21. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/46973>
- Scheldeman, X. & van Zonneveld, M. (2010). Training manual on spatial analysis of plant diversity and distribution. Bioversity International, Rome. 179 pp. https://www.bioversityinternational.org/uploads/tx_news/Training_manual_on_spatial_analysis_of_plant_diversity_and_distribution_1431_07.pdf.
- Upadhyaya, H. D., Narsimha, R. K., Vetriventhan, M., Murali, K.G., Irshad, A. M. and Manyasa, E. (2017). Geographical distribution, diversity and gap analysis of East African sorghum collection conserved at the ICRISAT genebank. *Australian Journal of Crop Science* 11:424–437. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.04.pne330>
- Ureta, C., González-Salazar, C., González, E. J., Álvarez-Buylla, E. R. and Martínez-Meyer, E. (2013). Environmental and social factors account for Mexican maize richness and distribution: A data mining approach. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 179: 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.06.017>
- Van Proosdij, A. S. J., Sosef, M. S. M., Wieringa, J. J. and Raes, N. (2016). Minimum required number of specimen records to develop accurate species distribution models. *Journal of Space and Time in Ecology* 39: 542–552. <https://doi.org/10.1111/ecog.01509>.
- Vargas, L.A. (2014). El maíz, viajero sin equipaje. *Anales de Antropología*. 48:123–137. [https://dx.doi.org/10.1016/S0185-1225\(14\)70492-8](https://dx.doi.org/10.1016/S0185-1225(14)70492-8)
- Wellhausen, E. J., Roberts, L. M., Hernández, X. E. and Mangelsdorf, P. C. (1951). Razas de maíz en México. Su origen características y distribución. Folleto Técnico No. 5. Oficina de Estudios Especiales, Secretaria de Agricultura y Ganadería, México. 237 pp. https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/50301000/Races_of_Maize/Raza_Mexico_0_Book.pdf
- Zaniewski, A. E., Lehmann, A. and Overton, J. M. (2002). Predicting species spatial distributions using presence-only data: a case study of native New Zealand ferns. *Ecological modelling* 157:261–280. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00199-0](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00199-0)