

# DIVERSIDAD DE MAÍCES EN PÁTZCUARO, MICHOACÁN, MÉXICO, Y SU RELACIÓN CON FACTORES AMBIENTALES Y SOCIALES

## MAIZE DIVERSITY IN PATZCUARO, MICHOACAN, MEXICO, AND ITS RELATIONSHIP WITH ENVIRONMENTAL AND SOCIAL FACTORS

Quetzalcóatl Orozco-Ramírez<sup>1\*</sup>, Jorge Odenthal<sup>2</sup>, Marta Astier<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua Carretera a Pátzcuaro 8701, Col. San José de la Huerta, Morelia, Michoacán, 58190. México. (qorozco@ciga.unam.mx) (mastier@ciga.unam.mx). <sup>2</sup>IACATAS A. C. (jorge.odenthal@iacatas.org.mx).

### RESUMEN

La diversidad de maíces en la región del Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México, incluye 11 de las 27 razas de maíz en el estado de Michoacán. El presente estudio se realizó de 2012 a 2015 con el objetivo de explorar la distribución espacial de la diversidad de maíces y los factores ambientales y sociales a los que está asociada. La hipótesis fue que la distribución de la diversidad es heterogénea en la región, la diversidad mayor está en las localidades que practican agricultura tradicional, la cual está asociada con la presencia de agricultores indígenas y diversidad mayor de ambientes agrícolas. Recolectas de maíz y entrevistas a agricultores se realizaron con el método etnobotánico. La información obtenida fue sobre manejo del cultivo y variables socioeconómicas de la unidad de producción y del productor. El análisis se realizó en escala regional, local y unidad de producción con métodos geográficos, modelos lineales generalizados y métodos multivariantes. En escala regional la asociación sólo de algunas razas con los tipos de suelo y la altitud fue significativa. Un grupo de localidades con diversidad alta de razas se caracterizó por su altitud baja y su diversidad alta de suelos. En las unidades de producción se observó la asociación de la riqueza de nombres de maíces con el hecho de que el agricultor hable lengua indígena y tenga varias parcelas.

**Palabras clave:** *Zea mays* subsp. *mays*, distribución de la diversidad, grupos indígenas, purhépechas, razas de maíz, modelos lineales generalizados.

### ABSTRACT

The diversity of maize in the region of Lake Patzcuaro, Michoacan, Mexico, includes 11 out of the 27 maize races found in the State of Michoacan. This study was carried out from 2012 to 2015, with the aim of exploring the spatial distribution of the diversity of maize and the related environmental and social factors. Our hypothesis was that diversity has a heterogeneous regional distribution: diversity is greater in those locations where traditional agriculture is practiced. This kind of agriculture is associated with the presence of indigenous farmers and a greater diversity of agricultural environments. The ethnobotanical method was used to collect maize and interview farmers. We obtained information about crop management and the socio-economic variables of the production unit and the producer. This information was analyzed at regional, local, and production unit scale, using geographical methods, general linear models, and multi-variable methods. On a regional scale, the association of only some races with the types of soil and altitude was significant. One set of localities with high race diversity featured low altitude and high soil diversity. There are many names for maize in production units where farmers speak an indigenous language and own several smallholdings.

**Key words:** *Zea mays* subsp. *mays*, distribution of diversity, indigenous groups, purhépechas, maize races, general linear model.

### INTRODUCTION

Mexico has the greatest diversity of maize in the world which includes morphological (Sánchez *et al.*, 2000) and genetic (Vigouroux *et al.*, 2008) variability. During the last ten years, maize diversity studies have been

\*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: enero, 2017. Aprobado: mayo, 2017.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 51: 867-884. 2017.

## INTRODUCCIÓN

México tiene la diversidad mayor de maíces en el mundo, la que incluye variabilidad morfológica (Sánchez *et al.*, 2000) y genética (Vigouroux *et al.*, 2008). En la última década, los estudios de la diversidad de maíces se han impulsado como en la década de 1970, con los estudios de Hernández-Xolocotzi (1972). La diversidad de poblaciones nativas de maíces continúa vigente, principalmente en las áreas de agricultura tradicional, ya que aún hay razas descritas en México en la década de 1940 (Perales y Golicher, 2014). La diversidad se distribuye heterogéneamente en el país (Kato *et al.*, 2009; Perales y Golicher 2014) por lo que es conveniente conocer los factores sociales y ambientales que determinan las áreas con diversidad alta de maíces, cómo se mantiene esa diversidad y los programas que se deberían diseñar para asegurar su conservación *in situ* (Ortega, 2003).

En México se han descrito al menos 59 razas de maíz (Sánchez *et al.*, 2000). Una raza incluye un conjunto de poblaciones con variación genética amplia y comparten algunas características (Ortega, 2003). Los autores distinguen entre cuatro y seis centros de diversidad de razas con nombres diferentes, que coinciden geográficamente: 1) Chiapas, 2) los valles y sierras de Oaxaca, 3) las sierras de la costa oeste, 4) la mesa central, 5) las sierras del noroeste y 6) los cañones de Chihuahua (Kato *et al.*, 2009; Perales y Golicher 2014; Orozco-Ramírez *et al.*, 2017). La altitud es un factor que determina la distribución racial en estas regiones. La riqueza de razas es mayor en elevaciones medias en zonas montañosas (Orozco-Ramírez *et al.*, 2017). Según Perales *et al.* (2003), en el centro de México las variedades locales dominan el paisaje agrícola en altitud mayor y en elevaciones medias la adopción de variedades mejoradas es mayor. En contraste, en Chiapas se identificó riqueza racial mayor en altitudes bajas, pero en las tierras altas hubo más diversidad en colores (Brush y Perales, 2007). Los agricultores prefieren utilizar las variedades locales en suelos con calidad menor y sembrar variedades mejoradas en los de calidad mayor (Bellon y Taylor, 1993; Fenzi *et al.*, 2017). Aunque, en Guanajuato, las relaciones entre áreas con tecnología contrastante y diversidad de razas de maíz no fueron significativas (Aguirre *et al.*, 2000).

encouraged like in the 1970s, when Hernández-Xolocotzi carried out his studies (1972). The diversity of native maize population still prevails, mainly in traditional agricultural areas, because the races described in Mexico during the 1940s still exist (Perales and Golicher, 2014). Diversity is heterogeneously distributed in the country (Kato *et al.*, 2009; Perales and Golicher, 2014); therefore, knowing which social and environmental factors determine high maize diversity areas and which programs should be designed to guarantee its *in situ* conservation is advisable (Ortega, 2003).

At least 59 maize races have been described in Mexico (Sánchez *et al.*, 2000). A race includes a set of populations with great genetic variation and which share some characteristics (Ortega, 2003). The authors distinguish four to six diversity centers with races with different names; these centers match the following geographical regions: 1) Chiapas; 2) the valleys and sierras of Oaxaca; 3) the sierras of the west coast; 4) the central plateau; 5) the northwestern sierras; and, 6) the canyons of Chihuahua (Kato *et al.*, 2009; Perales and Golicher, 2014; Orozco-Ramírez *et al.*, 2017). Altitude is a factor that determines race distribution in these regions. The greatest abundance of races is found in average elevations in mountainous zones (Orozco-Ramírez *et al.*, 2017). Perales *et al.* (2003) pointed out that, in central Mexico, local varieties dominate the agricultural landscape at higher altitudes and that improved varieties are more adopted at average altitudes. In contrast, a greater race abundance was identified at lower altitudes in Chiapas, although color was more diverse in the highlands (Brush and Perales, 2007). Farmers prefer to use local varieties in low quality soils and to sow improved varieties in higher quality soils (Bellon and Taylor, 1993; Fenzi *et al.*, 2017). However, the connection between contrasting technology areas and maize race diversity was not significant in Guanajuato, (Aguirre *et al.*, 2000).

The connection between maize abundance and indigenous communities is complex and very few studies have been made about them. The sampling of maize diversity has not been systematic and the effect of the environment in some indigenous towns in specific areas has not been isolated (Brush, 2004). However, it has been decades since the association between maize diversity and indigenous

La relación entre la riqueza de maíces y las comunidades indígenas es compleja y hay pocos estudios que la registran son escasos. Esto se debe a que el muestreo de la diversidad de maíz no ha sido sistemático y el efecto del ambiente de algunos pueblos indígenas en áreas específicas no se ha aislado (Brush, 2004). Sin embargo, la asociación de la diversidad de los maíces con los pueblos indígenas se ha sugerido desde hace décadas. Al sobreponer el mapa de diversidad de maíz con el de territorios indígenas en México, Boege (2008) observó diversidad mayor en esas zonas que en las de agricultura industrial o población mestiza. Aunque, por excepción algunas regiones con presencia indígena menor mostraron diversidad alta. Las recolectas sistemáticas entre los grupos indígenas en Oaxaca, mostraron aumento de la diversidad con la presencia indígena (Hernández-Xolocotzi, 1972). En algunas regiones, de Oaxaca y Chiapas la correlación entre población indígena y riqueza de razas es significativa; en otras regiones con diversidad alta de razas, como las sierras de la costa oeste y del noroeste, la correlación es baja y en otras con alta población indígena, como en Yucatán, la riqueza de razas de maíz es baja (Perales y Golicher, 2014). En Chiapas, la diversidad de razas y variedades locales de maíz de agricultores indígenas, en varias altitudes, es mayor que la de los mestizos, quienes usan más variedades modernas (Brush y Perales, 2007).

En Michoacán, la riqueza de razas de maíz es alta, y hay 27 de las 59 razas reportadas para México (Orozco-Ramírez *et al.*, 2017). La riqueza de maíces en la región de Pátzcuaro, Michoacán, también es alta, si se considera su extensión. Las razas principales en esa región son: Cónico, Puhépecha, Chalqueño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Tabloncillo y Cacahuacintle (Astier *et al.*, 2012). Entre 2005 y 2015 un monitoreo de la diversidad de maíces nativos mostró que la riqueza de razas y variedades locales se ha mantenido. Aunque la superficie sembrada con maíz disminuyó, se siembran las mismas razas y variedades locales que en 2005 (Orozco-Ramírez y Astier, 2017).

El objetivo de este estudio fue describir la diversidad de maíces y su distribución en la región del lago de Pátzcuaro y su relación con factores ambientales y sociales. La distribución de la diversidad se analizó con un enfoque de escalas. La hipótesis fue que la distribución de la diversidad es heterogénea en la región y la diversidad mayor de maíces está en las

population was first suggested. When Boege (2008) superimposed the maize diversity map over the map of Mexico's indigenous territories, he observed a greater diversity in those zones than in zones where industrial agriculture was practiced or where the population was racially-mixed. Exceptionally, some regions with low indigenous presence had high maize diversity. Systematic collection among the indigenous groups of Oaxaca, showed that maize diversity increased along with indigenous presence (Hernández-Xolocotzi, 1972). In some regions of Oaxaca and Chiapas, there is a significant correlation between indigenous population and race abundance; however, in other regions with high race diversity —such as the sierras of the western and northwestern coasts—, correlation is low and in other regions with high indigenous population, such as Yucatan, maize race abundance is low (Perales and Golicher, 2014). In Chiapas, the diversity of maize races and local maize varieties used by indigenous farmers at several altitudes is higher than those used by mixed-race farmers, who use more modern varieties (Brush and Perales, 2007).

Maize races abundance is high in Michoacan, Mexico: 27 of the 59 races reported in Mexico can be found there (Orozco-Ramírez *et al.*, 2017). Taking into consideration its area, Patzcuaro, Michoacan, also has a great diversity of maize races. The main races found in that region are: Cónico, Puhépecha, Chalqueño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Tabloncillo, and Cacahuacintle (Astier *et al.*, 2017). The diversity of native maize was monitored from 2005 to 2015, showing that the abundance of races and local varieties has remained high. Although the area where maize was sown did diminish, the same races and local varieties that were sown in 2005 are still sown today (Orozco-Ramírez and Astier, 2017).

The aim of this study was to describe the diversity of maize and their distribution in the Lake Patzcuaro region, as well as their connection with environmental and social factors. Diversity distribution was analyzed using a multi-scale approach. Our hypothesis was that diversity is heterogeneously distributed in the region and that maize diversity is greater in those locations where traditional agriculture is still practiced. This kind of agriculture is associated with the presence of indigenous farmers and more diverse agricultural environments.

localidades que practican agricultura tradicional, la cual está asociada a la presencia de agricultores indígenas y a la diversidad mayor de ambientes agrícolas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La región del Lago de Pátzcuaro está en el centro del Eje Neovolcánico Transversal, en el estado de Michoacán. Esta región natural y cultural es compleja y heterogénea en términos de población y actividades económicas. Las localidades indígenas, las ciudades y los pueblos mestizos comparten el espacio y las actividades productivas primarias se combinan con el turismo en el mismo paisaje (Mapes *et al.*, 1994). Las principales actividades económicas de las localidades rurales son agricultura, ganadería, elaboración de artesanías y pesca (Castilleja, 1992). Los municipios que forman parte de la región de la cuenca son Pátzcuaro, Erongaricuaru, Quiroga y Tzintzuntzan. Sus cabeceras municipales son los centros principales de población. La ciudad de Pátzcuaro destaca porque es el centro económico de la región. El índice promedio de desarrollo humano, de los cuatro municipios (0.672), es menor que el nacional (0.739) y Pátzcuaro tiene el índice (0.695) más alto que los otros tres (PNUD, 2014). La población indígena es 20 % de la total. Erongaricuaru es el municipio con el porcentaje mayor (40 %) de población indígena (CDI, 2010).

En la región dominan montañas de origen volcánico, valles intermontanos, pie de montes y lomeríos. El espejo del lago está a 2040 m de altitud y la cima más alta alcanza 3400 m (Barrera-Bassols, 1992). El clima es templado sub-húmedo con lluvias en verano. La precipitación promedio total es de 1100 mm anuales. La temperatura media anual es de 16.9 °C, con mínima promedio de 8 °C y máxima de 25.7 °C (CICESE, 2015). La vegetación en los lomeríos es de bosque de pino y encino. La agricultura se practica en las áreas planas alrededor del lago y en los valles. Los paisajes agrícolas definidos por Mapes *et al.* (1994) y Astier *et al.* (2010) están asociados a los tipos de suelos, a) Andosoles: paisajes de agricultura de humedad, se siembran temprano maíces de ciclo largo; b) Acrisoles y Litosoles: paisajes de agricultura de temporal, con siembra del maíz de ciclo cortos al inicio de las lluvias; c) Vertisoles: con agricultura de jugo o tierras siempre húmedas en la orilla del lago; y d) Luvisoles con agricultura de riego (INEGI, 2013a).

La agricultura se desarrolla principalmente en unidades pequeñas de producción, con superficie promedio de 3.7 ha (INEGI, 2007). Los principales cultivos anuales son maíz (*Zea mays* subsp. *mays*), avena forrajera (*Avena sativa*), trigo (*Triticum aestivum*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), calabazas (*Cucurbita pepo*)

## MATERIALS AND METHODS

### Area of study

The Lake Patzcuaro region is located in the heart of the Trans-Mexican Volcanic Belt, in the State of Michoacan. The population and economic activities of this natural and cultural region are complex and heterogeneous. Indigenous localities, and mixed-raced cities and towns share space and primary production activities mix with tourism in the same landscape (Mapes *et al.*, 1994). The rural localities' main economic activities are agriculture, cattle raising, handicrafts, and fishing (Castilleja, 1992). The region is made up of the municipalities of Patzcuaro, Erongaricuaru, Quiroga, and Tzintzuntzan. The municipal capitals are the main population centres. The city of Patzcuaro stands out as the region's economic center. The average human development index for the four municipalities (0.672) is lower than the national index (0.739). Patzcuaro's index (0.695) is higher than the other three (PNUD, 2014). Indigenous population accounts for 20 % of the overall population. Erongaricuaru is the municipality with the highest percentage (40 %) of indigenous population (CDI, 2010).

The region is dominated by volcanic mountains, intermontane valleys, foothills, and lowhills. The lake surface is located at 2040 meters above sea level and the highest peak reaches 3400 meters above sea level (Barrera-Bassols, 1992). The weather is temperate sub-humid and it rains in the summer. The overall average rainfall is 1100 mm per year. The average yearly temperature is 16.9 °C, with a minimum average of 8 °C and a maximum average of 25.7 °C (CICESE, 2015). The vegetation in the lowhills is made of pine trees and holm oaks. Agriculture is carried out in the plains around the lake and in the valleys. The agricultural landscapes defined by Mapes *et al.* (1994) and Astier *et al.* (2010) are associated with the type of soil: a) andosols are residual moisture rainfed agriculture landscapes where long-cycle maize varieties are sown early; b) acrisols and lithosols are rainfed agriculture landscapes where short-cycle maize is sown when the rain seasons starts; c) vertisols are lake shore agriculture landscapes or ever humid lands on the bank of the lake; and, d) luvisols are irrigated agriculture landscapes (INEGI, 2013a).

Agriculture is mainly carried out in small production units, with an average area of 3.7 ha (INEGI, 2007). The main annual crops are maize (*Zea mays* subsp. *mays*), oat forage (*Avena sativa*), wheat (*Triticum aestivum*), beans (*Phaseolus vulgaris*), squashes (*Cucurbita pepo*), fig-leaf gourd (*C. ficifolia*), lentils (*Len culinaris*), and common vetch (*Vicia sativa*). Maize covers 8115 ha (71 %) of the cultivated area. In general, farmers sow their own seed; hybrid maize is hardly sown. The most important perennial crops are avocado (*Persea americana*) and alfalfa (*Medicago sativa*) (SIAP, 2015).

chilacayotes (*C. ficifolia*), lenteja (*Lens culinaris*) y janamargo (*Vicia sativa*). El maíz cubre 8115 ha del área cultivada, que equivale a 71 % de esta. En general los agricultores utilizan su propia semilla; el maíz híbrido prácticamente no se siembra. Los cultivos perennes más importantes son aguacate (*Persea americana*) y alfalfa (*Medicago sativa*) (SIAP, 2015).

### Trabajo de campo

Entre 2012 y 2015 se realizaron 113 entrevistas a agricultores de 29 localidades de la región del Lago de Pátzcuaro. La selección de la muestra se hizo con el método propuesto por Hernández-Xolocotzi (1972). Este consiste en maximizar la recolecta de muestras de maíces diferentes con la cantidad menor de entrevistas. Las entrevistas concluyeron al recolectar todos los tipos de maíz reconocidos por cada comunidad. Las entrevistas se dirigieron, específicamente, a los agricultores reconocidos por la comunidad como quienes siembran la cantidad y calidad mayor de variedades locales de maíz. El manejo del cultivo y la localización de las parcelas también se registraron. En 2012, las recolectas de maíz consistieron de seis mazorcas mínimo, escogidas por los agricultores, e identificadas por razas por el Dr. José Alfredo Carrera. En 2015 sí se hicieron entrevistas, pero no se recolectaron muestras. Los maíces los clasificó el equipo técnico en la casa del agricultor. La mayoría de las poblaciones locales y nativas de maíz presentó características de dos o más razas; el análisis se facilitó al usar la raza dominante. Las muestras con características mezcladas, sin posibilidad de clasificarse, estuvieron en la categoría de indeterminada. La aplicación GPSlogger para Android se utilizó para georreferenciar las parcelas. Los datos geográficos se procesaron en ArcMap 10.1 y se combinaron con los datos de las encuestas.

### Análisis de datos

Los datos se analizaron por región, localidad y unidad de producción. Para el primero, un sistema de información geográfica se diseñó, e incluyó: 1) modelo digital de elevación, elaborado a partir de las curvas de nivel de las cartas topográficas (escala 1: 50,000; INEGI, 2015); 2) capa vectorial de suelos, serie II de INEGI (2013a) (escala 1:250,000); 3) capa de localidades del marco geostadístico, versión 6.2 (INEGI, 2014); 4) capa de uso de suelo a partir de la serie V (INEGI, 2013b), que permitió definir el régimen de humedad (riego, temporal, humedad); 5) capa de cuerpos de agua de las cartas topográficas (escala 1:50 000; INEGI, 2015); y 6) capa vectorial de la ubicación de las razas de maíz, a partir de las encuestas.

La base de datos de las razas de maíz y su localización consistió de 402 observaciones con los siguientes campos: raza, localidad, municipio, color de grano, uso, tipo de suelo (de

### Field work

From 2012 to 2015, 113 interviews were conducted with farmers from 29 localities in the Lake Patzcuaro region. The samples were selected using the method proposed by Hernández-Xolocotzi (1972): maximizing the gathering of samples from different maize types with the lowest number of interviews. The interviews ended when every kind of maize recognized by each community had been collected. The interviews were specifically focused on those farmers that the community recognized as the ones who sow the highest quantity and quality of local maize races. Crop management and smallholding location were also recorded. In 2012, a minimum of six cobs were collected; they were chosen by the farmers and their race was identified by José Alfredo Carrera, ScD. In 2015, farmers were interviewed, but no samples were collected. The technical team classified the maize samples at the farmers' homes. Most of the local and native maize populations had characteristics from two or more races. In order to facilitate the analysis, the dominant race was used. Samples with mixed characteristics that the team was not able to classify were placed in the undetermined category. The GPSlogger Android app was used to georeferenced the smallholdings. Geographical data was processed using ArcMap 10.1 and were combined with the survey's data.

### Data analysis

Data were analyzed per region, locality, and production unit. In the first case, a geographical information system was designed. It included the following elements: 1) elevation digital model, developed based on the level curves of topographic maps (scale: 1:50 000; INEGI, 2015); 2) vector layer of soils, series II by INEGI (2013a) (scale: 1:250 000); 3) layer of villages and towns from the geostatistical framework, version 6.2 (INEGI, 2014); 4) layer of land use based on series V (INEGI, 2013b), which allowed us to define the moisture system (irrigation, rainfed, moisture); 5) layer of water sources from the topographic maps (scale: 1:50 000; INEGI, 2015); and 6) vector layer of the location of the maize races, based on the surveys.

The database of maize races and their location was made up of 402 observations with the following fields: race, locality, municipality, grain color, use, type of soil (according to the farmer), moisture system, cultivation system, type of soil (INEGI, 2013a), agri-environment, local variety (local name of the native maize population), altitude, and slope. A map was designed to represent maize race distribution and those races were qualitatively associated with the variables, by means of a

acuerdo con el agricultor), régimen de humedad, sistema de cultivo, tipo de suelo (INEGI, 2013a), agro-ambiente, variedad local (nombre local de la población de maíz nativo), altitud y pendiente. Un mapa se diseñó para representar la distribución de las razas de maíz y estas se asociaron cualitativamente a las variables mediante exploración visual. En el mapa impreso, la ubicación de las recolectas se ajustó para reducir la superposición de los puntos. Esto fue posible porque se crearon etiquetas de cada punto y se movieron para obtener la distancia mínima requerida. Para cada raza con más registros (Purhépecha, Cónico, Elotes Occidentales, Ancho, Chalqueño y Elotes Cónicos) se obtuvo un modelo lineal generalizado para asociarlas a las variables ambientales. El modelo fue binomial con una función de vínculo logit. Cada raza se modeló separada (con R versión 3.3.1; Core Team R, 2016); así, en cada punto, en el mapa, se indicó si la raza de interés estuvo o no presente. Las variables para modelar la presencia de la raza fueron altitud, tipo de suelo y pendiente. El régimen de humedad no se incluyó por su asociación con el tipo de suelo ( $X^2=435.3$ ,  $p=0.000$ ). El régimen de humedad residual correspondió a Andosoles, el régimen de temporal a Acrisoles y la agricultura de riego a Luvisoles.

El análisis local se obtuvo con la información de ocho variables que caracterizaba a cada comunidad (Cuadro 1). Las localidades con uno o dos agricultores entrevistados se excluyeron; entre ellas, las ciudades de Pátzcuaro, Quiroga y Erongarícuaro. En total se incluyeron 18 de las 29 localidades en las que se aplicaron entrevistas. Así, riqueza de razas, riqueza de variedades locales (número de nombres locales de las poblaciones de maíz cultivadas en la comunidad), población total, población indígena, altitud media, riqueza de tipos de suelo agrícolas, e índice de diversidad de Shannon se analizaron mediante componentes principales (PCA) en R (Core Team R, 2016). De este análisis se excluyó el índice de Simpson porque tuvo correlación significativa con el índice de Shannon ( $R=0.98$ ,  $p=0.000$ ). Al PCA se incorporó información etnográfica que permitiría caracterizar a las localidades con riqueza mayor de maíces y explicar la variación de la diversidad por localidad.

El análisis por unidad de producción consistió del modelo Poisson, con función de vínculo logarítmica. La variable que se predeciría fue el número de nombres locales de las poblaciones nativas. Esta variable se eligió, en lugar de la riqueza de razas, porque el número promedio de razas por unidad de producción fue bajo (media 1.96 razas por unidad de producción). El número de nombres locales, además de ser mayor, tiene significado práctico para los agricultores porque cada nombre es la unidad básica de clasificación local del maíz. La variable dependiente se modeló con 19 variables de la unidad de producción (Cuadro 1). Con la varianza residual y el criterio de

visual exploration. The location of the collections was adjusted in the printed map, in order to reduce the superimposition of points. Labels were created for each point in order to make this possible; those points were moved in order to obtain minimum required distance. For each of the races with more records (Purhépecha, Cónico, Elotes Occidentales, Ancho, Chalqueño, and Elotes Cónicos), a general linear model was developed and those races were then associated with environmental variables. A binomial model with a logit link function was used. A separate model was made for each race (with R version 3.3.1; Core Team R, 2016); a point was marked in the map where a race of interest was located. The variables used to model the presence of a race were altitude, type of soil, and slope. The moisture system was not included, due to its association with the type of soil ( $X^2=435.3$ ,  $p=0.000$ ). The residual moisture system matched andosols, the rainfed agriculture system matched acrisols, and the irrigated agriculture system matched luvisols.

A local analysis was based on the information of eight variables that set each community apart (Table 1). Localities where only one or two farmers were interviewed were excluded, including the cities of Pátzcuaro, Quiroga, and Erongarícuaro. Overall, 18 out of 29 localities in which interviews were carried out were included. Therefore, race abundance, local varieties abundance (number of local names of maize populations tilled in the community), total population, indigenous population, average altitude, abundance of agriculture soil types, and the Shannon diversity index were analyzed using the principal component analysis (PCA) with R (Core Team R, 2016). The Simpson index was excluded from this analysis, because it was significantly correlated with the Shannon index ( $R=0.98$ ;  $p=0.000$ ). Ethnographic information was included in the PCA in order to characterize localities with greater abundance of maize types and to explain diversity variation per locality.

Production unit analysis was carried out using the Poisson model, with a logarithm link function. The variable to be predicted was the number of local names for the native populations. This variable was chosen instead of race abundance, because the average number of races per production unit was low (mean: 1.96 races per production unit). Not only was the number of local names greater, but it also had a practical meaning for farmers, because each name is the basic unit they use to classify maize in their locality. The dependent variable was modelled with 19 variables of the production unit (Table 1). One of the evaluated models was chosen based on residual variance and Akaike's Information Criterion (AIC). A subsample of units with more than five maize populations was chosen to complete the analysis of the production unit, and each production unit was described using the survey's data.

información de Akaike (AIC) se eligió uno de los modelos que se evaluaron. Para completar el análisis de las unidades de producción se eligió una submuestra de unidades con más de cinco poblaciones de maíz y cada unidad de producción se describió con los datos de los cuestionarios.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Distribución de la diversidad en escala regional

Las 11 razas de maíz detectadas mostraron distribución típica de la frecuencia de especies: pocas razas con frecuencia alta y muchas razas con frecuencia baja. Las razas Purhépecha (170 registros) y Cónico (72) fueron muy dominantes. Elotes Occidentales

## RESULTS AND DISCUSSION

### Diversity distribution on a regional scale

The 11 maize races that were detected showed a typical distribution of species frequency: few races with high frequency and many races with low frequency. The dominant races were Purhépecha (170 records) and Cónico (72). Elotes Occidentales (34), Ancho (26), Chalqueño (20), and Elotes Cónicos (20) showed average frequency. The races with very low frequency were Mushito (9), Pepitilla (8), Cacahuacintle (5), Tabloncillo (3), and Palomero Toluqueño (1). A population that came from a hybrid variety was recorded, and 33 records were

**Cuadro 1. Variables incluidas en el análisis local y por unidad de producción.**

**Table 1. Variables included in the analysis per locality and per production unit.**

Variable (por localidad)	Tipo	Intervalo <sup>†</sup>	Promedio <sup>†</sup>
Riqueza de razas	Cuantitativa discreta	1-7	3.9
Número de nombres locales de maíces nativos	Cuantitativa discreta	2-15	5.7
Índice de diversidad de Shannon	Cuantitativa continua	0-1.80	1.04
Índice de diversidad de Simpson	Cuantitativa continua	0-0.82	0.54
Población total	Cuantitativa discreta	299-4952	2262
Población que habita en hogares indígenas	Cuantitativa discreta	0-3839	711
Elevación media	Cuantitativa continua	2040-2428	2169
Número de tipos de suelo agrícolas	Cuantitativa discreta	1-2	1.6
Variables (escala de unidad de producción)	Tipo de variable	Rango <sup>‡</sup>	Promedio <sup>‡</sup>
Número de nombres locales de maíces nativos (variable dependiente)	Cuantitativa discreta	1-11	2.6
Edad (años)	Cuantitativa discreta	22-89	64
Área sembrada de maíz (ha)	Cuantitativa continua	0.5-28	4.1
Número de parcelas sembradas de maíz	Cuantitativa discreta	1-11	2.7
Número de especies cultivadas	Cuantitativa discreta	1-6	3
Agricultor práctica policultivo	Binaria	Si / No	59/42
El hogar es autosuficiente en maíz	Binaria	Si / No	91/10
Vende maíz	Binaria	Si / No	60/41
Escolaridad (años)	Cuantitativa discreta	0-16	4
Tipo de propiedad	Binaria	Privada / Comunal o Ejidal	27/74
Agricultor habla purhépecha	Binaria	Si / No	38/63
Actividad extra	Binaria	Si / No	72/29
Agricultor ha migrado	Binaria	Si / No	53/48
Unidad con ganado	Binaria	Si / No	59/42
El agricultor preserva la semilla con la que empezó a sembrar	Binaria	Si / No	71/30
Número de tipos de suelo (clasificación local)	Cuantitativa discreta	1-5	1.6
Agricultura de temporal (vs. riego o humedad residual)	Binaria	Si / No	49/52
Uso de maquinaria	Binaria	Si / No	56/45
Uso de fertilizante químico	Binaria	Si / No	88/13
Cantidad máxima de años con una población nativa de maíz	Cuantitativa discreta	1-81	40

<sup>†</sup>Excluyendo las localidades de uno y dos entrevistas. <sup>‡</sup>Las entrevistas con datos incompletos se excluyeron (12) y quedaron 101 para el análisis. <sup>‡</sup>Excluding localities with one or two interviews. <sup>‡</sup>Excluding (12) interviews with incomplete data. Overall, 101 interview were used in the analysis.

(34), Ancho (26), Chalqueño (20) y Elotes Cónicos (20) tuvieron frecuencia media. Las cinco razas con frecuencia muy baja fueron Mushito (nueve), Pepitilla (ocho), Cacahuacintle (cinco), Tabloncillo (tres) y Palomero Toluqueño (uno). También se tuvo un registro de una población derivada de una variedad híbrida y 33 registros asociados con una raza particular por sus características indefinidas.

El mapa de distribución de las razas mostró varios patrones (Figura 1). Parece que en las tierras altas hubo dominancia de la raza Purhépecha en una franja, de sur a oeste, pasando por las localidades de Casas Blancas, Opopeo, Zirahuén, Santa María Huiramangaro y Pichátaro. En esta franja domina el agro-ambiente de tierras con humedad residual y se caracteriza por sus suelos con capacidad alta para retener humedad, por lo que se siembran antes de que inicien las lluvias (Mapes *et al.*, 1994; Astier *et al.*, 2012). Otro patrón mostró la dominancia de las razas Cónico, Elotes Occidentales y Elotes Cónicos en las tierras bajas de la rivera noroeste del lago, en las localidades de Uricho, Napízaro, San Andrés

not associated with any particular race, due to their undefined characteristics.

The race distribution map showed several patterns (Figure 1). It seems that the Purhépecha races dominated a south-west strip in the highlands, which included the Casas Blancas, Opopeo, Zirahuén, Santa María Huiramangaro, and Pichátaro localities. This strip is dominated by residual moisture lands and its soils have high moisture retention capacity; therefore, they are sown before the rains start (Mapes *et al.*, 1994; Astier *et al.*, 2012). Another pattern showed that the Cónico, Elotes Occidentales, and Elotes Cónicos races dominate in the lowlands of the northwestern bank of the lake, in the localities of Uricho, Napízaro, San Andrés Ziróndaro, and Jerónimo Purenchécuaro. These are rainfed agriculture lands, with luvisol and Acrisol type soils. Fast growth races are sown at the beginning of the rain season. Another agri-environment is irrigated lands, which showed a high diversity of long- and short-cycle races. The greater diversity seems to be located in the lowlands. Three lowland areas have

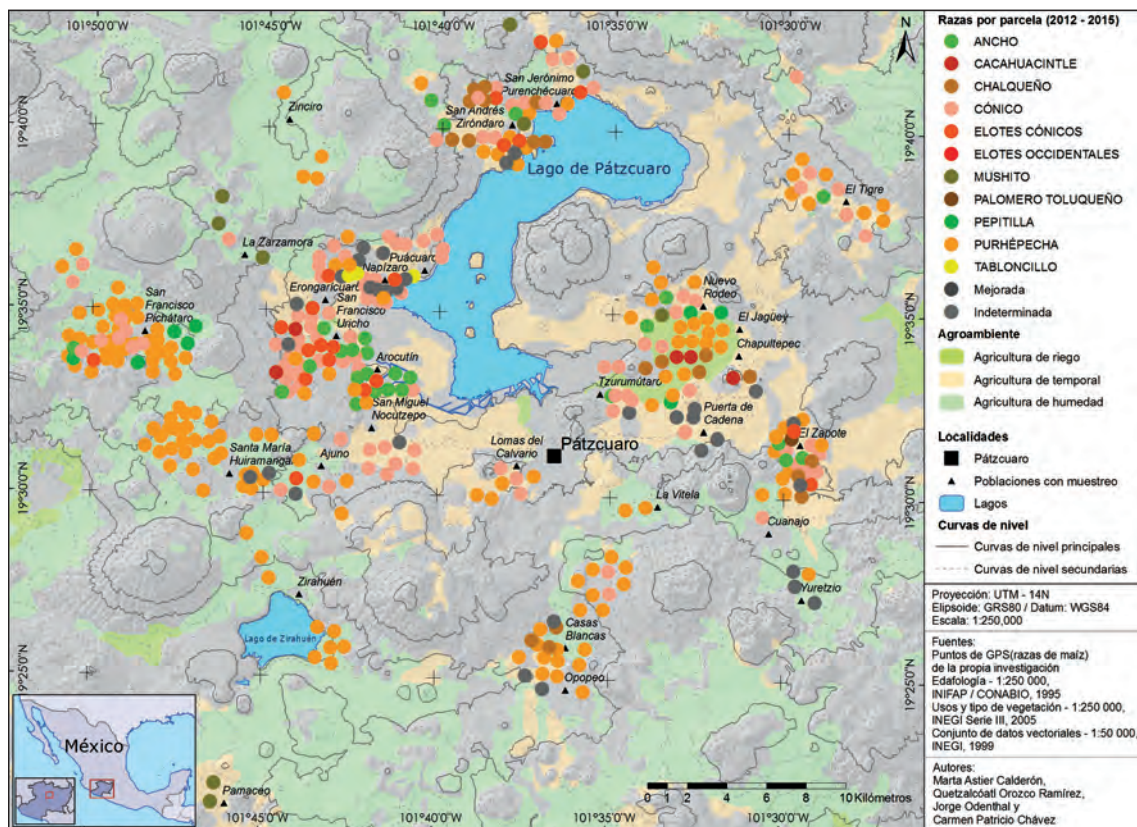


Figura 1. Mapa de distribución de las razas de maíz en la región de Patzcuaro.  
 Figure 1. Distribution map of maize races in the Patzcuaro region.



Ziróndaro y San Jerónimo Purenchécuaro. Esas tierras son de temporal, los suelos son tipo Luvisol y Acrisol, y se siembran al inicio de las lluvias con razas de crecimiento rápido, como las ya mencionadas. Otro agro-ambiente es el de tierras con riego que mostró alta diversidad de razas de ciclo largo y corto. La diversidad mayor parece que está en las tierras bajas y en ellas se apreciaron tres áreas con diversidad alta: la primera en las localidades de San Jerónimo Purenchécuaro y San Andrés Ziróndaro al norte del lago; la segunda entre Napízaro y Uricho, al suroeste del lago; y la tercera en la zona de riego entre Tzurumútar, El Jagüey y Nuevo Rodeo al este del lago.

#### **Asociación con tipo de suelos, altitud, pendiente y ambientes agrícolas**

El análisis de correlación entre raza y agro-ambiente incluyó únicamente las razas Purhépecha, Cónico, Elotes Occidentales, Ancho, Chalqueño y Elotes Cónicos porque fueron las más frecuentes. Las otras cinco razas no se modelaron porque su frecuencia fue notablemente baja.

Los modelos binomiales para la distribución de razas indicaron que la raza Purhépecha se asocia con ambientes con elevación media de 2260 m, ubicación frecuente en suelos Andosoles y poca pendiente. La raza Cónico se asoció con frecuencia a ambientes en la parte baja de la cuenca, pero la asociación de esta raza con la elevación fue débil ya que se observó en todo el intervalo altitudinal. Una asociación con la pendiente del terreno no se pudo definir ya que se encontró en valles y lomeríos. Por la asociación de esta raza con los suelos tipo Acrisol y Andosol parece que se cultiva en temporal y con humedad residual (Cuadros 2 y 3).

La raza Elotes Occidentales se asoció a tierras bajas y al parecer con los tipos de suelo Acrisol y Luvisol, pero en el modelo el efecto del tipo de suelo no fue significativo. Esto, probablemente porque el número de registros de esta raza (34) fue relativamente bajo. Esta raza tuvo frecuencia mayor en tierras con pendiente, en los lomeríos alrededor del lago. La raza Ancho se asoció a las tierras de lomerío en la parte baja de la cuenca y no se asoció directamente con algún tipo de suelo. El Chalqueño se asoció a tierras con poca pendiente, altitud media y no se encontró asociación a algún tipo de suelo. La raza

high diversity: the first is located in San Jerónimo Purenchécuaro and San Andrés Ziróndaro, north of the lake; the second is located between Napízaro and Uricho, southeast of the lake; and the third is located in the irrigation zone between Tzurumútar, El Jagüey, and Nuevo Rodeo, east of the lake.

#### **Association with type of soil, altitude, slope, and agricultural environments**

The analysis of the correlation between races and agro-environment only included Purhépecha, Cónico, Elotes Occidentales, Ancho, Chalqueño, and Elotes Cónicos, because they were the most frequent races. The other five races were not modelled because they had a significantly low frequency.

Binomial models for race distribution indicate that the Purhépecha race is associated with an average altitude of 2260 m, frequently located in andosol soils with minimal slope. The Cónico race was frequently associated with environments in the low part of the basin, but there's a weak association between this race and altitude. We could not define an association with the plot's slope, because it was located in valleys and low hills. Due to this race's association with acrisols and andosols, it seems to be cultivated during the rainy season and with residual moisture (Tables 2 and 3).

The Elotes Occidental race was associated with the lowlands and seemingly with acrisols and luvisols; however, the effect of the type of soil was not significant in the model, probably because the number of records for this race (34) was relatively low. This race had a greater frequency in lands with more slope, like the low hills around the lake. The Ancho race was associated with the low hills in the lower part of the basin and was not directly associated with a specific type of soil. The Chalqueño race was associated with lands with low slope and average altitude, and it was not associated with any kind of soil. The Elotes Cónicos race was more common in low lands, but was not directly associated with the slope or the type of soil. The Ancho, Chalqueño, and Elotes Cónicos race models provided few explanations about overall variance, because few records were available. An increased number of cases can generate stronger models (Tables 2 and 3).

Model adjustment changed from one race to another. The best explanation of data variation

**Cuadro 2. Resultados de los modelos binomial (link=logit) para describir asociaciones de razas con factores ambientales<sup>†</sup>.**

**Table 2. Results of the binomial model (link=logit) to describe the association of races with environmental factors<sup>†</sup>.**

Variable	Estimador	Valor z	Pr(> z )	
<b>Raza Purhépecha</b>				
Devianza nula: 547.7				
Devianza del modelo: 474.5				
Intercepto	-11.05	-5.51	0.000	***
Altitud	0.00	5.01	0.000	***
Pendiente	-0.08	-1.83	0.068	‡
Suelo Andosol	0.77	2.41	0.016	*
Suelo Luvisol	0.33	0.89	0.376	
Suelo Otro	0.75	1.88	0.060	‡
<b>Raza Cónico</b>				
Devianza nula: 377.9				
Devianza del modelo: 368.3				
Intercepto	3.10	1.28	0.200	
Altitud	0.00	-1.75	0.080	‡
Pendiente	0.02	0.44	0.664	
Suelo Andosol	-0.25	-0.71	0.476	
Suelo Luvisol	-0.95	-2.06	0.040	*
Suelo Otro	-0.36	-0.80	0.425	
<b>Raza Elotes Occidentales</b>				
Devianza nula: 233				
Devianza del modelo: 214				
Intercepto	5.56	1.34	0.179	
Altitud	0.00	-1.93	0.054	‡
Pendiente	0.11	1.79	0.074	‡
Suelo Andosol	-0.53	-0.94	0.346	
Suelo Luvisol	0.70	1.52	0.128	
Suelo Otro	-0.12	-0.20	0.842	
<b>Raza Ancho</b>				
Devianza nula: 192.68				
Devianza del modelo: 178.06				
Intercepto	11.51	2.35	0.019	*
Altitud	-0.01	-2.88	0.004	**
Pendiente	0.11	1.66	0.096	‡
Suelo Andosol	0.14	0.26	0.796	
Suelo Luvisol	-0.02	-0.04	0.972	
Suelo Otro	-0.24	-0.35	0.729	
<b>Raza Chalqueño</b>				
Devianza nula: 159				
Devianza del modelo: 142.4				
Intercepto	1.88	0.34	0.736	
Altitud	0.00	-0.58	0.562	
Pendiente	-0.48	-2.36	0.018	*
Suelo Andosol	-1.02	-1.32	0.187	
Suelo Luvisol	-0.23	-0.37	0.711	
Suelo Otro	-0.41	-0.57	0.572	
<b>Raza Elotes Cónicos</b>				
Devianza nula: 159				
Devianza del modelo: 145.5				
Intercepto	12.51	2.38	0.017	*
Altitud	-0.01	-2.90	0.004	**
Pendiente	0.08	0.95	0.340	
Suelo Andosol	0.55	1.00	0.316	
Suelo Luvisol	-0.80	-0.98	0.328	
Suelo Otro	-1.16	-1.08	0.282	

<sup>†</sup>Las razas se modelaron separadas. \*\*\* Pr≤0.001; \*\* Pr≤0.01; \* Pr≤0.05; ‡ Pr≤0.1. ❖ Races were modelled separately. \*\*\* Pr≤0.001; \*\* Pr≤0.01; \* Pr≤0.05; ‡ Pr≤0.1.

Elotes Cónicos fue más común en las tierras bajas, pero no se asoció directamente con la pendiente o el tipo de suelo. Los modelos para las razas Ancho, Chalqueño y Elotes Cónicos explicaron poco de la varianza total, porque hubo pocos registros. El aumento del número de casos puede generar modelos más robustos (Cuadros 2 y 3).

El ajuste de los modelos varió entre las razas. El modelo que explicó mejor la variación de los datos (13 % de la varianza total) fue el que incluyó a la raza Purhépecha. El modelo con la raza Cónico explicó sólo 3 % de la varianza, porque se tuvieron pocos registros de ella. Además, la varianza permite sugerir que la raza se distribuye en la mayoría de los ambientes de la región. Los análisis con marcadores moleculares generalmente indican variación mayor dentro de poblaciones que entre ellas (Vigouroux *et al.*, 2008; Orozco-Ramírez *et al.*, 2017). La alta variabilidad genética entre y dentro de las poblaciones permite amplitud mayor de adaptación a las razas.

La distribución altitudinal de algunas de las razas identificadas en la región de Pátzcuaro sobrepasó el intervalo reportado por Ruiz *et al.* (2008). Según estos autores, la raza Elotes Occidentales se encuentra entre 700 y 2170 m; sin embargo, en la región de estudio, esta raza se distribuyó hasta los 2657 m. Las razas Ancho y Pepitilla se encontraron a 360 y 400 m de altitud arriba de la distribución reportada. Al contrario, Palomero Toluqueño se encontró abajo de la distribución reportada.

Las razas mostraron adaptación amplia, pues estuvieron en todos los agro-ambientes de la región y fue posible distinguir las localidades y las condiciones socio-ambientales donde algunas razas son las más frecuentes. Los campesinos distinguen principalmente el maíz de temporal y el de humedad. Estos varían principalmente en la duración del ciclo de cultivo. Es común que los agricultores de la parte alta utilicen semilla de la parte baja para sembrar cuando falla la siembra de humedad, porque saben que estos son de ciclo menor.

### Distribución de la diversidad a nivel local

La riqueza, la diversidad de razas y de nombres locales de maíces nativos no mostró alguna asociación significativa con las variables seleccionadas por localidad. Los modelos Poisson se descartaron por que no explicaron la varianza. En contraste, el PCA por

(13 % of the total variance) was provided by the model that included the Purhépecha race. The Cónico race model accounted for only 3 % of the variance, because few records were available for it. Additionally, this variance allowed us to suggest that this race is distributed in most of the region's environments. The analysis of molecular markers usually indicates a greater variation from one population to another, rather than within each population (Vigouroux *et al.*, 2008; Orozco-Ramírez *et al.*, 2017). The high genetic variability between and within populations enables races to have greater adaptation scope.

The altitude distribution for some of the races identified in the Patzcuaro region exceeded the interval reported by Ruiz *et al.* (2008). According to them, the Elotes Occidentales race was found between 700 and 2170 m; however, our study indicates that this race was distributed up to 2675 m in this region. Our report indicated that the Ancho and Pepitilla races could be found 360 and 400 m above the distribution reported in that study. Meanwhile, the Palomero Toluqueño race was found below the distribution reported by Ruiz and his collaborators.

The races showed great adaptability, because they were found in all agri-environments in the region and we were able to distinguish the localities and the socio-environmental conditions under which some races are most frequently found. Farmers distinguish mainly between maize types for rainfed systems and for residual moisture systems. The main variation is the length of their cultivation cycles. The highland farmers usually use seeds from the lowlands for the second sowing, when the moisture crops fail, because they know that lowland seeds have shorter cycles.

### Local diversity distribution

The abundance, and the diversity of races and local names for native maize did not have any significant association with the variables that were selected according to the locality. Poisson models were discarded because they did not explain the variance. In contrast, PCA per locality indicated that localities with five or seven races shared characteristics, such as altitude (medium to low) and human population size (low to medium). Pichátaro does not fit this pattern, as a result of its abundance of races, big population, and high elevation. The first

localidad indicó que aquellas con cinco a siete razas compartieron características, como la altitudinal (de media a baja) y el tamaño de la población humana (de baja a media). Pichátaro salió de este patrón por su riqueza de razas, población grande y su elevación alta. El primero y el segundo componente principal (CP) explicaron 69.5 % de la varianza (Figura 2). Las variables que tuvieron peso mayor en la definición del primer CP fueron índice de diversidad de Shannon (rotación de 0.57), riqueza de razas (0.55), número de tipos de suelos agrícolas (0.42) y altitud media (-0.38). Las variables más importantes para el segundo CP fueron número de nombres locales de maíces nativos (-0.55), población indígena (-0.48) y población total (-0.42).

Las comunidades con número mayor de razas fueron El Zapote (7), San Andrés Tziróndaro (7), Arócutin (6), San Francisco Uricho (6), Tzurumútaro (6), Napízaro (5) y San Francisco Pichátaro (5). Las siete comunidades mostraron características ambientales y socioeconómicas parcialmente diferentes, por lo que es imposible definir un perfil de localidad con diversidad alta (Cuadro 4).

### Análisis por unidad familiar

Entre los modelos para predecir el número de nombres de maíces nativos por unidad de producción elegimos uno que incluyó sólo tres de las 19 variables propuestas. Las que explicaron mejor la variable dependiente fueron superficie total de maíz, número de parcelas y jefe de familia hablante de lengua indígena. El AIC del modelo con las 19 y las tres variables fue 352 y 324 y explicaron 50.3 y 43.4 % de la variabilidad de los datos, respectivamente.

El modelo indicó que estas tres variables afectan positivamente al número de nombres de maíces nativos (Cuadro 5). De acuerdo con el modelo, el efecto de cada factor, cuando los otros son constantes, es el siguiente: 1) el número de nombres de maíces nativos aumentará por un factor de 1.03 al aumentar una hectárea sembrada de maíz; 2) el número de nombres aumentará por un factor de 1.11 por cada parcela que se aumente; y 3) el número de nombres aumentará en un 43 % si el agricultor habla purhépecha.

De los 113 agricultores entrevistados, solo siete tuvieron cinco o más nombres de maíces. Tres

and second main components (CP) accounted for 69.5 % of the variance (Figure 2). The variables that were more important in the definition of the first CP were Shannon diversity index (0.57 rotation), race abundance (0.55), number of types of agricultural soils (0.42), and medium altitude (-0.38). The most important variables to determine the second CP were the number of local names for native maize types (-0.55), indigenous population (-0.48), and total population (-0.42).

The communities with more races were El Zapote (7), San Andrés Tziróndaro (7), Arócutin (6), San Francisco Uricho (6), Tzurumútaro (6), Napízaro (5), and San Francisco Pichátaro (5). The seven communities showed partially different environmental and socio-economic characteristics; therefore, we were unable to define a high diversity profile for these localities (Table 4).

### Analysis per family unit

Among the models used to predict the number of native maize names per production unit, we chose one that only included 3 out of the 19 proposed variables. The variables that provided a better explanation for the dependent variable were total maize area, number of smallholdings, and head of family that speaks an indigenous language. The model's AIC

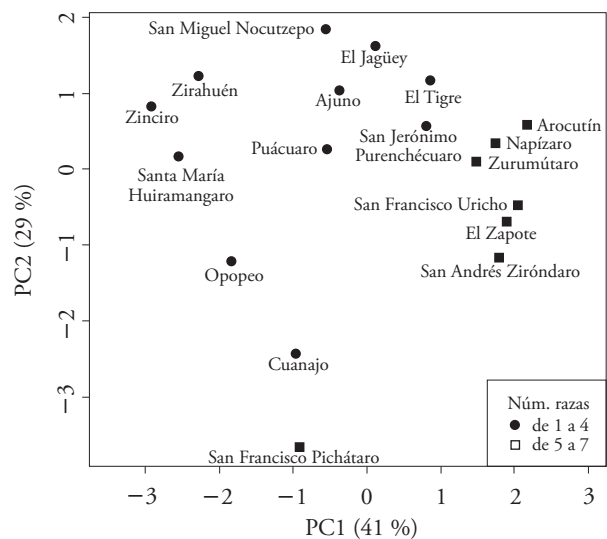


Figura 2. Biplot del análisis de componentes principales de las localidades.

Figure 2. Biplot of the main component analysis of the localities.

**Cuadro 3. Intervalos de variables de distribución de las razas de maíz en la región de Pátzcuaro, Michoacán, México.**  
**Table 3. Distribution variable intervals of the maize races in the region of Patzcuaro, Michoacan, Mexico.**

Raza	Altitud (m)			Pendiente (grados)			Frecuencia por tipo de suelo						Frecuencia por régimen de humedad	
	Frecuencia	Media	Max	Media	Min	Max	Acrisol	Andosol	Luvisol	Otro	Riego	Temporal	Humedad	
Purhépecha	170	2260	2677	2.9	0.1	20.2	25	111	18	16	13	43	114	
Cónico	72	2157	2676	3.1	0.3	12.5	28	29	7	8	7	34	31	
Elotes Occidentales	34	2111	2657	3.4	0.4	7.2	12	7	11	4	3	24	7	
Ancho	26	2100	2464	3.5	0.7	8.1	10	8	5	3	0	18	8	
Chalqueño	20	2113	2224	1.6	0.4	2.5	8	4	5	3	4	12	4	
Elotes Cónicos	20	2107	2441	3.3	0.6	16.3	8	9	2	1	0	11	9	
Mushito	9	2237	2657	5.1	0.4	8.5	0	5	2	2	1	3	5	
Pepitilla	8	2256	2434	1.6	0.5	3.8	0	5	2	1	3	0	5	
Cacahuacintle	5	2076	2114	2.3	0.4	6.7	1	1	1	2	2	2	1	
Tabloncillo	3	2044	2049	1.5	1.4	1.7	3	0	0	0	0	3	0	
Palomero Toluqueño	1	2147	2147	1.8	1.8	1.8	1	0	0	0	0	1	0	

**Cuadro 4. Características de las localidades con diversidad mayor de razas de maíz en Pátzcuaro, Michoacán, México.**  
**Table 4. Characteristics of the localities with greater maize race diversity in Patzcuaro, Michoacan, Mexico.**

Comunidad	Entrevistas	Riqueza (razas)	Riqueza (nombres de maíces)	Número de colores	Índice de Shannon	Índice de Simpson	Población total 2010	Población indígena 2010	Altitud media
Arocutín	3	6	6	4	1.73	0.81	606	130	2052
El Zapote	8	7	10	5	1.80	0.81	327	0	2164
Napízaro	6	5	9	6	1.44	0.72	520	55	2055
San Andrés Ziróndaro	7	7	6	4	1.80	0.82	2302	2282	2090
San Francisco Pichátaro	13	5	15	7	0.90	0.44	4952	2095	2420
San Francisco Uricho	6	6	8	4	1.71	0.81	1832	1153	2077
Tzurumútaró	4	6	6	2	1.67	0.79	2443	9	2040

**Cuadro 5. Resultados del modelo Poisson del número de nombres de maíces nativos por unidades de producción en Pátzcuaro, Michoacán, México.**  
**Table 5. Poisson model results for the number of native maize names per production unit, in Pátzcuaro, Michoacan, Mexico.**

	Estimador	Error estándar	Valor de z	Pr (> z )
Intercepto	0.36502	0.12808	2.85	0.00437*
Superficie total de maíz	0.02767	0.01611	1.717	0.08593
Número de parcelas	0.10688	0.03981	2.685	0.00725*
Lengua indígena (Si)	0.36184	0.13444	2.691	0.00711*

\* Valor de p significativo. ❖ \*Significant p value.

fueron de Pichátaro, dos de Napizaro, uno de Nuevo Rodeo y uno de Uricho. Cuatro de estos siete agricultores hablan Purhépecha y su edad fue de 51 a 66 años. El agricultor con 11 nombres o tipos de maíz, indicó que los siembra en 11 parcelas, en 28 ha, no haber ido a la escuela y dedicarse también a la ganadería. Los otros agricultores reportaron superficie sembrada de dos a 11 ha y siembra de tres a cinco parcelas. Seis de ellos indicaron escolaridad de cero a tres años y sólo uno tuvo educación superior. Todos reportaron tener otra actividad además de la agricultura, por ejemplo, ganadería, producción artesanal o forestal. El agricultor con educación superior es maestro de educación básica, el más joven y con menos tiempo (10 años) con su semilla más antigua. Los otros agricultores han tenido la misma semilla por 25 años en promedio. Algunos agricultores han tenido más de 50 años la misma semilla.

El ajuste menor de los modelos binomiales de la presencia regional de las razas Purhépecha, Cónico, Elotes Occidentales, Ancho, Chalqueño y Elotes Cónicos puede indicar que las variables elevación, pendiente y tipo de suelo tienen poca relevancia en la explicación de la presencia de las razas. A su vez, esto puede deberse al intervalo de variación estrecho de las variables en la región estudiada. Así, el gradiente ambiental estrecho no afecta la posibilidad de cultivar una u otra raza. Para probar esta hipótesis sería necesario ampliar la zona de estudio. También, existe la posibilidad de que los agricultores prefieran las poblaciones de tipo Purhépecha y Cónico, que fueron las razas con frecuencia mayor. Aunque la raza Purhépecha se asoció a las tierras con humedad y la raza Cónico a las de temporal, no fueron exclusivas de esos ambientes. Por lo tanto, parece que son los maíces

with the 19 and the 3 variables were 352 and 324 and accounted for 50.3 and 43.4 % of the data variability, respectively.

Based on this model, these three variables have a positive effect on the number of native maize names (Table 5). According to the model, the effect of each factor —when the other factors remain constant— is the following: 1) the number of native maize names will increase by a factor of 1.03 as maize cultivation per hectare increases; 2) the number of names will increase by a factor of 1.11 for each smallholding that is added; and 3) the number of names will increase by 43 % if the farmer speaks Purhépecha.

Out of 113 farmers interviewed, only seven had five or more maize names and 3 production units were located in Pichátaro, 2 were located in Napizaro, 1 was located in Nuevo Rodeo, and 1 more was located in Uricho. Four out of this seven farmers speak Purhépecha and they were 51-66 years old. The farmer who mentioned 11 names or types of maize said that he sows them in 11 smallholdings (28 ha), that he had not gone to school, and that he also raised cattle. The others reported sowing 3-5 smallholdings in 2-11 ha. Six said they had gone 3 years to school and only one had higher education. All of them reported another activity (cattle-raising, handicraft production, or forest-related). The farmer with the highest education was a primary school teacher, he was the youngest, and had used his oldest seed for the shortest time (10 years). The other farmers had used the same seed for an average of 25 years. Some farmers have used the same seed for over 50 years.

The minor adjustment of the binomial model for the regional presence of the Purhépecha, Cónico, Elotes Occidentales, Ancho, Chalqueño, and Elotes Cónicos races may indicate that the altitude, slope,

básicos para el consumo en la región. Los demás maíces fueron complementarios y se siembran en superficies chicas, se obtuvieron pocos registros y los modelos tuvieron ajuste bajo. Este patrón de variedades dominantes y secundarias es común en México (Perales *et al.*, 2003).

Los modelos Poisson por localidad, para explicar la riqueza de razas y de nombres de poblaciones locales, no explicaron la varianza. Aunque, el PCA explicó 69.5 % de la varianza, los resultados en conjunto con los modelos Poisson, mostraron que PCA no reveló algún patrón que permitiera explicar la riqueza en escala de comunidad y sí mostró las variables que tuvieron variación mayor.

La unidad familiar modeló mejor la riqueza de nombres de poblaciones locales. Las variables seleccionadas para el modelo final fueron superficie total de maíz, número de parcelas y lengua indígena, y permitió explicar 43.4 % de la riqueza de maíces. Una de las razones para mantener la diversidad de variedades locales es la diversidad de ambientes de cultivo, expresada por la diversidad de suelos (Bellon y Taylor, 1993). Los agricultores en la cuenca del lago de Pátzcuaro con mayor superficie sembrada con maíz y más parcelas contaron con diversidad ambiental mayor por lo que requerían más tipos de maíces.

La asociación cuantitativa positiva entre la cultura indígena y la agrobiodiversidad en la unidad de producción se ha demostrado; es el caso de los agricultores indígenas comparados con los mestizos en un transecto altitudinal en Chiapas (Brush y Perales, 2007). En los Andes se evidenció que los agricultores con arraigo cultural indígena mayor invariablemente conservan agrobiodiversidad mayor en sus campos. En este caso, los indicadores fueron el uso de indumentaria y la lengua indígena y el consumo de alimentos tradicionales (Skarbø, 2014). En la región existe un vínculo estrecho entre la diversidad de maíces y la vida comunitaria, que se expresa en la cosmovisión de los agricultores, en el calendario festivo de las localidades y otros aspectos culturales (Mapes *et al.*, 1994; Orozco y Astier, 2017). En estos eventos festivos, que se originan de rituales antiguos, se preparan platillos en los que frecuentemente se presenta el maíz en maneras variadas (Castilleja *et al.*, 2003).

Los factores que influyen la diversidad no son los mismos en todas las escalas. Podemos observar

and type of soil variables are not very relevant to explain the races' presence. Additionally, this can be the result of the close variation interval of the variables in the region under study. Therefore, the close environmental gradient does not affect the possibility of cultivating one race or another. Expanding the zone under study would be necessary to prove this hypothesis. It is also possible that farmers prefer the Purhépecha and Cónico populations, which were the most frequent races. Although the Purhépecha race was associated with humid lands and the Cónico race was associated with rainfed agriculture lands, they were not exclusive to those environments. Therefore, these seem to be the most essential maize types consumed in the region. The other maize types were complementary and are sown in small areas, few records about them were obtained, and the models had a low adjustment. This dominant and secondary varieties pattern is common in México (Perales *et al.*, 2003).

The Poisson models used to explain race abundance and the names of local populations per race did not explain the variance. Although PCA accounted for 69.5 % of the variance, the joint results with the Poisson models showed that PCA did not reveal any pattern that allowed us to explain the community-scale abundance and did show which variables had a greater variation.

The family unit provided a better model of the abundance of names in local populations. The variables selected for the final model were: total maize area, number of smallholdings, and indigenous language; it accounted for 43.4 % of the maize abundance. One of the reasons to keep a diversity of local varieties is the diversity of cultivation environments, as expressed by soil diversity (Bellon and Taylor, 1993). Farmers in the basin of Lake Patzcuaro who had sown maize in more smallholdings in greater areas had a greater environmental diversity. Therefore, they required more maize types.

The positive quantitative association between indigenous culture and agrobiodiversity in the production unit has been proven: such is the case of indigenous farmers compared with mixed-raced farmers in an altitude transect in Chiapas (Brush and Perales, 2007). In the Andes, it became evident that farmers with indigenous cultural roots invariably keep a greater agrobiodiversity in their fields. In this case, such association was made clear by the use of

que, en la escala regional, local y unidad de producción, la diversidad está asociada a variables diferentes. A escala regional, se observan zonas de alta y baja riqueza de maíz, es notoria la presencia de una zona de alta diversidad en el norte y centro-occidente, donde la mayoría son comunidades con alta presencia indígena, pero también existe un área de alta diversidad en la zona oriente, con comunidades con población mayoritariamente mestiza. La altitud, pendiente y tipo de suelo (o régimen de humedad) explicaron la distribución en de las razas en estas zonas. Algunas razas son características y dominantes en agroambientes determinados. La escala local proporcionó información de la existencia de comunidades con diversidad alta que comparten condiciones bio-físicas y demográficas, con excepción de una comunidad con otros patrones. En la escala de unidad de producción, la riqueza/diversidad y el tipo razas/variedades en los hogares respondió a variables como superficie, número de parcelas, presencia de animales y en forma significativa a características socio-culturales y étnicas del agricultor y su familia.

### CONCLUSIONES

La distribución de la diversidad no es homogénea en la región. Hay zonas, localidades y agricultores que destacan por su diversidad alta de maíces. Se acepta la hipótesis parcialmente porque a escala de localidad existen tanto localidades indígenas tradicionales como mestizas que tienen una alta riqueza de razas de maíz. En el análisis por unidad de producción se encontró que los agricultores que hablan lengua indígena y tiene un mayor número de parcelas son los que tienen mayor diversidad de tipos (nombres) de maíz.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los agricultores de la región del Lago de Pátzcuaro por participar en las entrevistas. También agradecemos al Grupo de Tecnología Rural Apropiada A. C. por el apoyo en la realización de la investigación; a Carmen Patricia por el apoyo en campo. Esta investigación fue realizada gracias al apoyo económico concedido por el Programa UNAM-DGAPA-PAPIIT No. IN-210015 y la CONABIO, a través del proyecto NM004. El primer autor agradece al Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental de la UNAM por la beca postdoctoral (2015-2016) para llevar a cabo este trabajo.

indigenous clothing and language and consuming traditional elements (Skarbø, 2014). There is a close bond in the region between maize diversity and community life: the farmers' world view, the localities' holiday calendar, and other cultural aspects proves this (Mapes *et al.*, 1994; Orozco and Astier, 2017). The dishes that are prepared during these festivities, which go back to ancient rituals, frequently include maize in various ways (Castilleja *et al.*, 2003).

It seems that the factors that influence diversity are not the same for all scales. Diversity is associated with different variables, at the regional, local, and production unit scales. On a regional scale, we can observe high and low maize abundance zones. The following zones were outstanding: one zone in the north and center-west had high density and most of the communities had high indigenous presence; the east zone also had high density and some of its towns had a majority of mixed-race population. Altitude, slope, and type of soil (or moisture system) explained the distribution of races in these zones. Some races are typical and dominant in certain agro-environments. Local scale provided information about the existence of communities with high diversity which share biophysical and demographic conditions, except for one community where other patterns prevail. In the production unit scale, abundance/diversity and the type of races/varieties at home resulted from such variables as area, number of smallholdings, presence of animals, and significantly the socio-cultural and ethnic characteristics of the farmer and his or her family.

### CONCLUSIONS

Diversity is not homogeneously distributed in the region. There are zones, localities, and farmers which stand out, as a result of their high maize diversity. This hypothesis is partially accepted, because at local scale there are both traditional indigenous localities, as well as mixed-race localities with a high abundance of maize races. The production unit analysis points out that farmers who speak an indigenous language and who have a greater number of smallholdings reported a greater diversity of types (names) of maize.

—End of the English version—





## LITERATURA CITADA

- Aguirre G., J. A., M. R. Bellon, and M. Smale. 2000. A regional analysis of maize biological diversity in Southeastern Guanajuato, México. *Econ. Bot.* 54: 60-72.
- Astier, M., N. Barrera-Bassols, J. Odenthal, M. I. Ramirez, Q. Orozco, and J. O. Mijangos-Cortés. 2010. Participatory identification and mapping of maize diversity in the Pátzcuaro-Zirahuén basins, Michoacán, México. *J. Maps* 6: 1-6.
- Astier, M., E. Pérez-Agis, Q. Orozco, M. Patricio-Chavez, y A. Moreno-Calles. 2012. Sistemas agrícolas, conocimiento tradicional y agrobiodiversidad: El maíz en la cuenca del Lago de Pátzcuaro. *In: Argueta V., A., M. Gómez S., y J. Navia A. (coords.). Conocimiento Tradicional, Innovación y Reapropiación Social.* Grupo Editorial Siglo XXI. México, D.F. pp: 146-172.
- Barrera-Basols, N. 1992. Ecogeografía. *In: Toledo, V.M., P. Alvarez-Icaza, y P. Ávila (eds). Plan Pátzcuaro 2000. Investigación Multidisciplinaria para el Desarrollo Sostenido.* Fundación Friedrich Ebert. Mexico, D.F. pp: 11-36.
- Bellon, M. R., and J. E. Taylor. 1993. "Folk" soil taxonomy and the partial adoption of new seed varieties. *Econ. Dev. Cult. Change* 41: 763-786.
- Boege, E. 2008. El Patrimonio Biocultural de los Pueblos Indígenas de México: hacia la Conservación *in situ* de la Biodiversidad y Agrobiodiversidad en los Territorios Indígenas. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. México, D. F. 342 p.
- Brush, S. B. 2004. *Farmers' Bounty: Locating Crop Diversity in the Contemporary World.* Yale University Press. New Haven, Connecticut. 327 p.
- Brush, S. B., and H. R. Perales. 2007. A maize landscape: ethnicity and agro-biodiversity in Chiapas México. *Agr. Ecosyst. Environ.* 121: 211-221.
- Castilleja G., A. 1992. Población. *In: Toledo, V. M., P. Alvarez-Icaza, y P. Ávila (eds). Plan Pátzcuaro 2000. Investigación Multidisciplinaria para el Desarrollo Sostenido.* Representación en México de la Fundación Friedrich Ebert. México, D. F. pp: 239-272.
- Castilleja G., A., A. G. R. Cervera A., C. García M., y H. Topete L. 2003. La comunidad y el costumbre en la región Purépecha. *In: Millan, S., y J. Valle. (coords.). La Comunidad sin Límites. La Estructura Social y Comunitaria de los Pueblos Indígenas de México. Vol. III.* Instituto Nacional de Antropología e Historia. México, D.F. pp: 17-112.
- CDI (Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas). 2010. Cédulas de información básica de los pueblos indígenas de México. México, D.F. <http://www.cdi.gob.mx/cedulas/> (Consulta: diciembre 2016).
- CICESE (Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada). 2015. Datos climáticos diarios del CLICOM del SMN a través de su plataforma web del CICESE. <http://clicom-mex.cicese.mx> (Consulta: mayo 2016).
- Core Team R. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.r-project.org> (Consulta: junio 2016).
- Fenzi, M., D. I. Jarvis, L. M. Arias R., L. Latournerie M., and J. Tuxill. 2017. Longitudinal analysis of maize diversity in Yucatan, México: influence of agro-ecological factors on landraces conservation and modern variety introduction. *Plant Genet. Resour.* 15: 51-63.
- Hernández-Xolocotzi, E. 1972. Exploración etnobotánica en maíz. *Fitotec. Latinoamer.* 8: 46-51.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2007. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007. Tabulados. INEGI. Aguascalientes, México. [http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados\\_Agricola/](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados_Agricola/) (Consulta: junio 2016).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2013a. Conjunto de datos vectorial Edafológico escala 1: 250 000 Serie II (Continuo Nacional). INEGI. Aguascalientes, México. [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/edafologia/vectorial\\_serieii.aspx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/edafologia/vectorial_serieii.aspx) (Consulta: junio 2016).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2013b. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000, Serie V (capa unión). INEGI. Aguascalientes, México. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/usosuelo/> (Consulta: junio 2016).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2014. Marco geoestadístico 2014 versión 6.2 (DENUE). INEGI. Aguascalientes, México. [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m\\_g\\_0.aspx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_g_0.aspx) (Consulta: junio 2016).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2015. Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50 000 serie III. E14A22 (Pátzcuaro). INEGI. Aguascalientes, México. <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825271879> (Consulta: mayo 2017).
- Kato Y., T. A., C. Mapes S., L. M. Mera O., J. A. Serratos H., y R. A. Bye B. 2009. Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 116 p.
- Mapes, C., V. M. Toledo, N. Barrera, y J. Caballero. 1994. La agricultura en una región indígena: la Cuenca del lago de Pátzcuaro. *In: Rojas R., T (ed). Agricultura Indígena, Pasado y Presente.* Ediciones de la Casa Chata. Centro de Investigación y Estudios Superiores en Antropología Social. México, D. F. pp: 275-341.
- Orozco-Ramírez, Q., and M. Astier. 2017. Socio-economic and environmental changes related to maize richness in México's central highlands. *Agric. Human Values* 34: 377-391.
- Orozco-Ramírez, Q., H. Perales, and R. J. Hijmans. 2017. Geographical distribution and diversity of maize (*Zea mays* L. subsp. *mays*) races in Mexico. *Genet. Resour. Crop Evol.* 64: 855-865.
- Ortega P., R. 2003. La diversidad del maíz en México. *In: Esteva, G. y C. Marielle (coords.). Sin Maíz no Hay País.* Consejo Nacional para la Cultura y las Artes/Dirección General de Culturas Populares. México, D. F. pp: 123-154.
- Perales, H., S. B. Brush, and C. O. Qualset. 2003. Landraces of maize in Central México: an altitudinal transect. *Econ. Bot.* 57: 7-20.
- Perales, H., and D. Golicher. 2014. Mapping the diversity of maize races in México. *PloS ONE* 9: e114657.

- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2014. Índice de Desarrollo Humano Municipal en México: Nueva Metodología. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. México, D.F. 102 p.
- Ruiz C., J. A., N. Durán P., J. J. Sánchez G., J. Ron P., D. R. González E., J. B. Holland, and G. Medina G. 2008. Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 Mexican maize races. *Crop Sci.* 48: 1502-1512.
- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman, and C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of México. *Econ. Bot.* 54: 43-59.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2015. Anuario estadístico de la producción agrícola. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, SAGARPA. México, D. F. [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/identidad/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/identidad/index.jsp) (Consulta: mayo 2016)
- Skarbø, K. 2014. The cooked is the kept: factors shaping the maintenance of agro-biodiversity in the Andes. *Human Ecol.* 42: 711-726.
- Vigouroux, Y., J. C. Glaubitz, Y. Matsuoka, M. M. Goodman, J. Sánchez G., and J. Doebley. 2008. Population structure and genetic diversity of New World maize races assessed by DNA microsatellites. *Am. J. Bot.* 95: 1240-1253.