DIVERSIDAD MORFOLÓGICA Y AGRONÓMICA DE MAÍCES NATIVOS DEL ALTIPLANO DE TAMAULIPAS, MÉXICO

MORPHOLOGICAL AND AGRONOMIC DIVERSITY OF MAIZE NATIVE TO THE HIGH PLATEAU OF TAMAULIPAS, MEXICO

Javier González-Martínez[1], Mario Rocandio-Rodríguez[1]*, Aremi R. Contreras-Toledo[2], Santiago Joaquín-Cancino[3], Venancio Vanoye-Eligio[1], Julio C. Chacón-Hernández[1] y Aurelio Hernández-Bautista[4]

[1]Universidad Autónoma de Tamaulipas, Instituto de Ecología Aplicada, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Recursos Genéticos, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. [3]Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. [4]Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética, Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México, México.

Autor de correspondencia (mrocandio@docentes.uat.edu.mx)

RESUMEN

El estado de Tamaulipas en México es considerado como parte de los centros de origen del maíz nativo, los maíces que ahí se cultivan poseen características agronómicas de importancia y son ampliamente diversos; sin embargo, los estudios de diversidad en el estado han sido pocos. Se analizó la diversidad morfológica y agronómica entre poblaciones de maíz nativo cultivadas en el Altiplano de Tamaulipas. Se establecieron experimentos en los municipios de Jaumave, Tula y Güémez, Tamaulipas, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar en los ciclos de siembra otoño-invierno 2016-2017 y primavera-verano del 2017, con 98 poblaciones de maíz nativo y dos testigos. Se registraron 33 caracteres morfológicos, se sometieron a análisis de varianza combinado; la agrupación de la diversidad se realizó mediante análisis de componentes principales. El análisis de componentes principales explico el 73.96 % de la variación total y mostró que los caracteres fenológicos y de mazorca fueron los que mayormente sustentaron la variación morfológica. El análisis de conglomerados permitió la identificación de dos grandes grupos morfológicos, donde predominó la raza Ratón. La variación del maíz nativo de Tamaulipas es amplia y contínua, en la cual se podrían encontrar alelos de interés para incorporarlos a programas de mejoramiento genético de maíz.

Palabras clave: *Zea mays,* caracteres morfológicos, maíces nativos, razas de maíz.

SUMMARY

The state of Tamaulipas in Mexico is considered part of the centers of origin of native maize, the maize grown there has important agronomic characteristics and is widely diverse; however, studies on diversity in the state have been scarce. Morphological and agronomic variation among populations of native maize cultivated in the highlands of Tamaulipas was analyzed. Experiments were established in the municipalities of Jaumave, Tula and Güémez, Tamaulipas, under a randomized complete blocks experimental design in the Autumn-Winter 2016-2017 and Spring-Summer 2017 agricultural cycles using 98 populations of native maize and two checks. Thirty-three morphological characters were recorded and subjected to a combined analysis of variance; diversity grouping was carried out using principal component analysis. The principal component analysis explained 73.96 % of the total variation, and showed that the phenological and ear traits were the ones that mainly supported the morphological variation. The cluster analysis allowed the identification of two large morphological groups, where the Raton race predominated. Variation of native maize of Tamaulipas is broad and continuous, in which alleles of interest could be found to incorporate them into maize breeding programs.

Index words: *Zea mays,* morphological characters, maize races, native maize.

INTRODUCCIÓN

La existencia de teocintle y *Tripsacum*, parientes silvestres del maíz (Bird, 1978; Mangelsdorf *et al*., 1967) y los registros históricos sobre la domesticación del maíz (*Zea mays* L.), de entre 6000 y 10,0000 años de antigüedad en el suroeste de México (Piperno *et al*., 2009) han permitido que Mesoamérica y, principalmente, México sea considerada área de origen, domesticación y diversificación de este cultivo (Hastorf, 2009). El maíz es de los cultivos ampliamente estudiados, tanto a nivel nacional como internacional, y resulta de gran importancia conocer su origen y clasificación, donde el concepto de raza debe considerarse (Anderson y Cutler, 1942; Eakin *et al*., 2014; Hernández y Alanís, 1970). En México se han descrito 59 razas (Sánchez *et al*., 2000), las poblaciones nativas han sido el soporte fundamental a toda esta diversidad (Cabrera-Toledo *et al*., 2019), las cuales representan de manera directa los recursos laborales de los campesinos en México (Espinosa *et al*., 2009; Noriero y Massieu, 2018; Quevedo *et al*., 2017; Sangermán-Jarquín *et al*., 2018).

La recolecta y el estudio de los maíces nativos de México ha sido de interés, debido principalmente a que proporcionan alelos que pueden ser útiles para el mejoramiento genético en diferentes regiones del país y su contribución a la diversidad genética mundial (Chambers *et al*., 2007; Dulloo *et al*., 2013; Eakin *et al*., 2014), donde los procesos biológicos y antropocéntricos, además de la selección y adaptación a través de regiones, condiciones

Recibido: 17 de Junio de 2019
Aceptado: 2 de Septiembre de 2020

socioeconómicas y biotipos ecológicos distintos, han generado diferentes combinaciones que incrementan la diversidad de maíz (Perales y Golicher, 2014; Quevedo *et al*., 2017).

El estado de Tamaulipas es considerado como centro de origen y domesticación del maíz (Mangelsdorf *et al*., 1967), se encuentra situado en el noreste de México y es poseedor de una aptitud agrícola sobresaliente (Cantú *et al*., 2010; Rendón-Aguilar *et al*., 2015), en esta región el maíz se establece durante los ciclos de siembra primavera-verano y otoño-invierno (Cantú *et al*., 2010, Reséndiz *et al*., 2014). Los municipios del estado con mayor uso de maíz nativo como semilla de siembra son Llera, Hidalgo, Nuevo Morelos y Tula, situados en el centro y sur del estado (Pecina-Martínez *et al*., 2009; Reséndiz *et al*., 2014).

El maíz nativo de estas áreas ha sido reconocido por su alto potencial de rendimiento, capacidad de adaptación a condiciones agroclimáticas adversas, diversidad genética y características agronómicas de importancia, como precocidad y estabilidad en diferentes ambientes (Miranda, 1977; Pecina *et al*., 2011; Pecina-Martínez *et al*., 2009). El mayor número de estudios basados en la diversidad de maíces nativos en México se ha concentrado en el centro-sur del país, con énfasis en los estados de Puebla (Flores-Pérez *et al*., 2015), Tabasco (Guillén-de la Cruz *et al*., 2014) y Oaxaca (Rendón-Aguilar *et al*., 2015), entre otros (Contreras-Molina *et al*., 2016; Narez-Jiménez *et al*., 2015; Sierra-Macías *et al*., 2016).

Por el contrario, en el estado de Tamaulipas los estudios de diversidad del maíz nativo han sido pocos, entre los que destacan los de Pecina-Martínez *et al*. (2009), Castro *et al*. (2013) y González-Martínez *et al*. (2018; 2019), por lo que se necesita información actualizada de la diversidad de los maíces nativos de dicho estado (Castro *et al*., 2013). Por lo anterior, se planteó como objetivo analizar la diversidad morfológica y agronómica de poblaciones de maíz nativo procedentes del altiplano de Tamaulipas, con la finalidad de valorar su diversidad para diseñar a futuro estrategias de aprovechamiento y conservación de algunas variedades nativas dentro de la diversidad genética regional.

MATERIALES Y METÓDOS

Material genético

Se utilizaron 91 poblaciones de maíz nativo, clasificadas racialmente de manera visual por los investigadores Rafael Ortega Paczka y Juan Manuel Hernández Casillas, las cuales fueron recolectadas de junio de 2016 a enero de 2017 en los municipios de Miquihuana, Bustamante, Tula, Jaumave y Palmillas, región denominada como altiplano de Tamaulipas (González-Martínez *et al*., 2018). Además, se incluyeron seis poblaciones nativas procedentes de municipios del centro del estado (dos de Hidalgo, tres de Ocampo y una de Villagrán), así como una población procedente del municipio de Ciudad del Maíz, San Luis Potosí, por considerarlas de interés agronómico para el estudio (Figura 1). El híbrido AG-069-B y la variedad sintética VS-402 se incluyeron como testigos.

Localidades de evaluación

Las experimentos se establecieron en el ejido San Lorencito (23° 22′ 00.36″ N y 99° 23′ 59.86″ O) municipio de Jaumave, con una altitud de 798 msnm, temperatura media anual de 29.2 °C y precipitación anual de 381 mm; en el ejido Tanque Blanco (22° 54′ 27.68″ N y 99° 47′ 40.41″ O) municipio de Tula, con altitud de 1297 msnm, temperatura media anual de 20.5 °C y precipitación anual promedio de 491 mm, ambos durante los ciclos otoño-invierno (O-I) 2016-2017 y primavera-verano (P-V) de 2017. en el municipio de Güémez (23° 56′ 20.57″ N y 99° 06′ 16.93″ O) con una altitud de 193 msnm, temperatura media anual de 23.8 °C y precipitación anual promedio de 721 mm; información obtenida mediante el programa Eric III V. 3.2, puesto a disposición por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

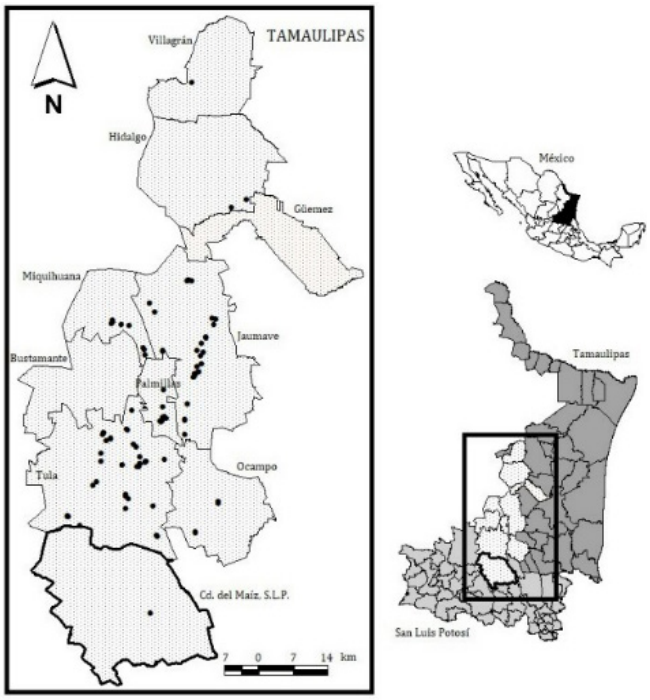


Figura 1. Procedencia de las 98 poblaciones de maíz colectadas en Tamaulipas, México.

Diseño experimental y manejo agronómico

Los experimentos se establecieron bajo un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones. La unidad experimental consistió en dos surcos de 5 m de longitud y 0.8 m de ancho entre surcos. Las siembras se realizaron de forma manual, se depositaron tres semillas por golpe cada 0.5 m y después de la segunda escarda se realizó un aclareo para dejar 44 plantas por unidad experimental y mantener una densidad de población de 55 mil plantas ha^{-1}. Los experimentos se desarrollaron bajo condiciones de riego en las localidades de Tula y Güémez; en Jaumave fue bajo condiciones de secano. La preparación del terreno consistió en las labores de cultivo tradicionales recomendadas para la producción de maíz en la zona norte-centro de Tamaulipas (Reyes *et al*., 1990).

Caracteres evaluados

Se registraron las siguientes variables: *i*) características fenológicas: días a floración masculina (FM) y femenina (FF), así como, asincronía floral (ASI) como la diferencia entre FM y FF; *ii*) características morfológicas vegetativas: altura de planta (APt) y de mazorca (AMz), longitud de la hoja de la mazorca (LHMz), ancho de la hoja de la mazorca (AHMz) medidos en cm, así como el número de hojas totales (NHt) y número de hojas arriba de la mazorca (NHMz); *iii*) características de espiga: longitud del pedúnculo (LPEs), longitud del tramo ramificado (LTREs), longitud de la rama principal (LRPEs), longitud total (LongEs) medidos en cm y número de ramificaciones primarias (NRPEs); *iv*) características de la mazorca: longitud (LMz), diámetro (DMz), longitud del pedúnculo (LPMz) en cm, número de hileras (NHilMz) y granos por hilera (GHil); *v*) olote: diámetro (Dolt) en cm y peso de olote (PO) en g; *vi*) caracteres de grano: longitud (LGr), ancho (AGr) y espesor (EGr) medidos en mm, peso de 100 granos (P100Gr) en g, volumen de 100 granos (V100Gr) en mL; así como las relaciones altura de mazorca/altura de planta (AMz/APt), longitud del tramo ramificado de la espiga/longitud de la espiga (LTREs/LongEs), anchura de grano/longitud de grano (AGr/LGr), espesor de grano/longitud de grano (EGr/LGr), peso de 100 granos/volumen de 100 granos (P100Gr/V100Gr) y porcentaje de granos de la mazorca (PorcGrMz). Las variables fueron registradas con base en los descriptores para maíz del International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR, 1991).

Análisis estadístico

Con la información obtenida se realizó un análisis de varianza combinado (Martínez, 1988), en el cual se incluyeron los 33 caracteres evaluados; posteriormente, se realizó una selección de variables mediante la obtención de valores y vectores propios a partir de la matriz de correlaciones del análisis de componentes principales, con el fin de mantener los caracteres de mayor valor descriptivo de la variación total para los análisis posteriores (Diego-Flores *et al*., 2012; Flores-Pérez *et al*., 2015; Guillén-de la Cruz *et al*., 2014). A las características seleccionadas se les realizó un análisis de componentes principales y para determinar el número adecuado de agrupaciones, en el plano generado por los dos primeros componentes, se empleó el método no paramétrico de agrupación MODECLUS, el cual es un análisis de agrupamiento disjunto de observaciones del paquete SAS V.9.1 (SAS Institute, 2004). Con la matriz de distancias euclidianas se realizó un análisis de conglomerados mediante el método de agrupamiento de mínima varianza dentro de grupos de Ward; la altura de corte para definir los grupos en el dendrograma se determinó con base en el índice Pseudo F; además, sobre la base de los grupos y subgrupos identificados se aplicó la prueba de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) para detectar diferencias estadísticas. Todos los análisis estadísticos se realizaron en el paquete SAS V.9.1 (SAS, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza combinado

El análisis de varianza combinado mostró diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) entre los genotipos para los 33 caracteres evaluados, con coeficientes de variación que oscilaron entre 1.8 y 24.7 %. Los resultados indican la existencia de amplia diversidad morfológica y agronómica, como lo reportado en las investigaciones de Guillén-de la Cruz *et al*. (2014) y López-Morales *et al*. (2014). Entre localidades se registraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) en 27 caracteres, similar a lo reportado por Diego-Flores *et al*. (2012), quienes mencionaron que lo contrastante de las condiciones climáticas y edáficas de las localidades de evaluación ocasionan que el fenotipo se exprese de manera diferente.

La interacción genotipos × localidades de evaluación mostró significancia estadística ($P \leq 0.01$ y $P \leq 0.05$) en 12 caracteres (Cuadro 1), lo cual demuestra que las poblaciones evaluadas presentan estabilidad en un alto número de características al ser evaluadas en diferentes ambientes como lo mencionaron Reséndiz *et al*. (2014).

Con base en la selección de variables, se identificaron 15 caracteres de mayor valor descriptivo, de los 33 inicialmente incluidos en la investigación, los cuales fueron FM, FF, APt, AMz, APt/AMz, NHt, LHMz, LTREs, LMz, DMz, DMz/LMz, LGr, EGr/LGr, P100Gr y V100Gr, y con éstos se realizaron análisis de componentes principales y de conglomerados.

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia estadística del análisis de varianza combinado de genotipos de maíz evaluados durante los ciclos O-I 2016-2017 y P-V 2017 en Tamaulipas, México.

Carácter	Genotipos (Gen)	Localidades (Loc)	Gen × Loc	Error	CV (%)
FM	150.4 **	18,019.2 **	11.5 *	9.1	4.1
FF	159.1 **	19,000.1 **	12.7 **	9.3	3.9
ASI	5.0 **	22.5 *	3.3 ns	3.3	1.8
APt	1585.8 **	63,580.9 *	386.1 ns	326.2	8.4
AMz	984.3 **	29,182.9 *	162.7 ns	158.7	14.4
AMz/APt	0.008 **	0.1 ns	0.002 ns	0.002	10.7
NHt	9.7 **	1628.6 **	1.0 ns	264.0	5.9
NHMz	0.6 **	65.9 **	0.2 **	44.7	6.6
LHMz	105.5 **	3498.6 *	50.1 ns	44.1	8.3
AHMz	1.5 **	18.3 ns	0.4 ns	0.4	8.6
LPEs	10.6 **	133.7 ns	5.3 ns	5.3	10.6
LTREs	9.8 **	44.1 ns	5.3 ns	4.9	18.3
LRPEs	10.1 **	614.8 *	8.3 *	6.8	9.9
LongEs	20.1 **	982.6 *	12.1 *	9.8	8.1
LTREs/LongEs	0.008 **	1.5 **	0.005 ns	0.005	18.8
NRPEs	2055.5 **	368.9 ns	6.3 *	5.1	16.7
LPMz	5.4 **	530.2 **	3.9 ns	3.5	24.7
PorcGrMz	31.5 **	441,944.6 **	22.2 **	10.3	5.8
LMz	5.0 **	279.8 *	2.7 ns	2.5	11.8
DMz	0.5 **	36.632 **	0.07 ns	0.08	6.9
DMz/LMz	0.005 **	0.02 ns	0.001 *	0.001	10.2
DOlt	4.7 **	20,958.5 **	3.2 **	1.7	15.9
NHilMz	6.1 **	12.1 *	0.6 ns	0.8	7.7
GHil	45.4 **	4271.2 **	23.3 **	15.2	12.6
LGr	2.4 **	275.2 **	0.6 ns	0.5	6.8
AGr	1.0 **	63.2 **	0.3 ns	0.3	6.2
EGr	0.5 **	2.6 **	0.1 ns	0.1	8.9
AGr/LGr	0.01 **	0.3 **	0.004 ns	0.004	8.2
EGr/LGr	0.01 **	0.5 **	0.003 ns	0.002	14.1
P100Gr	37.4 **	4801.5 **	20.2 **	14.1	14.5
V100Gr	82.8 **	9067.9 **	36.4 **	26.3	13.0
P100Gr/V100Gr	0.005 **	0.1 **	0.003 ns	0.002	7.3
PO	56.2 **	2572.7 **	13.0 ns	15.0	23.5

*, **: significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente, ns: no significativo, CV: coeficiente de variación, FM: floración masculina, FF: floración femenina, ASI: asincronía floral, APt: altura de planta, AMz: altura de mazorca, APt/AMz: altura de planta/altura de mazorca, NHt: número de hojas totales, NHMz: hojas arriba de la mazorca, LHMz: longitud de la hoja de la mazorca, AHMz: anchura de la hoja de la mazorca, LPEs: longitud pedúnculo de la espiga, LTREs: longitud tramo ramificado de la espiga, LRPEs: longitud rama central de la espiga, LongEs: longitud de la espiga, LTREs/LongEs: longitud tramo ramificado de la espiga/longitud de la espiga, NRPEs: ramas primarias de la espiga, LPMz: longitud pedúnculo de la mazorca, PorcGrMz: porcentaje de grano de la mazorca, LMz: longitud de la mazorca, DMz: diámetro de la mazorca, DMz/LMz: diámetro de la mazorca/longitud de la mazorca, GHil: granos por hilera, LGr: longitud de grano, AGr: anchura de grano, EGr: espesor de grano, AGr/LGr: anchura de grano/longitud de grano EGr/LGr: espesor de grano/longitud de grano, P100Gr: peso de cien granos, V100Gr: volumen de cien granos, P100Gr/V100Gr: peso de cien granos/volumen de cien granos, PO: peso de olote.

Análisis de componentes principales

Los valores y vectores propios del análisis de componentes principales mostraron que los tres primeros componente principales explicaron 40.59, 23.47 y 9.89 % de la variación total, respectivamente. Los caracteres que mayormente definieron al CP1 fueron FM (0.34), FF (0.35), APt (0.35), AMz (0.36), NHt (0.33) y la relación APt/AMz (0.31). Estudios previos mencionan resultados similares (Contreras-Molina *et al*., 2016; Diego-Flores *et al*., 2012); sin embargo, Rocandio-Rodríguez *et al*. (2014) y Flores-Pérez *et al*. (2015) mencionaron que caracteres de mazorca y grano fueron los de mayor aportación en este componente. Con respecto al CP2, los caracteres identificados fueron DMz (0.41), LGr (0.44), P100Gr (0.41) y V100Gr (0.43); en tanto que, en el tercer componente la variable LMz fue la más importante (0.43).

Algunos de los caracteres que definieron al CP2 y CP3 (Cuadro 2) mostraron similitud con lo encontrado por Hortelano *et al*. (2012), Guillén-de la Cruz *et al*. (2014), Flores-Pérez *et al*. (2015) y Rendón-Aguilar *et al*. (2015) debido a que las poblaciones nativas evaluadas en estos trabajos se realizaron en los estados de Puebla, Tabasco y Oaxaca, donde las razas reportadas como predominantes coinciden en gran medida con las que se utilizaron en la presente investigación, lo cual muestra la amplia diversidad morfológica y agronómica encontrada de maíces nativos que aún se cultivan en el altiplano del estado de Tamaulipas (Castro *et al*., 2013; Pecina-Martínez *et al*., 2009).

El gráfico de dispersión (Figura 2) basado en los dos primeros componentes principales permitió la explicación del 64.06 % de la varianza total. El análisis MODECLUS fundamentado en un radio de hiper-esfera de exploración R = 1, permitió la identificación de cuatro grupos poblacionales; así mismo, se identificaron ocho poblaciones que no mostraron similitud con el resto de los grupos. En cinco poblaciones estuvo presente la raza Tuxpeño, la cual es considerada importante para el fitomejoramiento a nivel mundial (Castro *et al*., 2013; Pecina *et al*., 2011) y la raza Chalqueño colectada a 1549 msnm, como lo mencionaron Wellhausen *et al*. (1952), quienes reportaron que se encuentra por arriba de los 1500 msnm.

El Grupo 1 se formó por 24 poblaciones del municipio de Tula, 11 de Jaumave, una de Miquihuana, dos de Ocampo, siete de Palmillas y una de Villagrán; además, se aprecia

Cuadro 2. Valores y vectores propios de los componentes principales (CP) que describen la variación morfológica de 98 poblaciones nativas de maíz, ciclos O-I 2016-2017 y P-V 2017, Tamaulipas, México.

Caracteres	CP1	CP2	CP3
Floración masculina	0.3425	-0.0417	-0.2117
Floración femenina	0.3559	-0.0633	-0.1675
Altura de planta	0.3505	0.0752	0.0632
Altura de mazorca	0.3618	0.1253	-0.0456
Altura de planta/Altura de mazorca	0.3137	0.1562	-0.1286
Número de hojas totales	0.3397	0.1095	-0.2523
Longitud de la hoja de la mazorca	0.2890	0.0907	-0.0458
Longitud del tramo ramificado de la espiga	0.2318	0.1956	0.2032
Longitud de la mazorca	0.2599	0.0632	0.4341
Diámetro de la mazorca	-0.1014	0.4171	-0.1634
Diámetro de la mazorca/Longitud de la mazorca	-0.2288	0.2579	-0.4018
Longitud del grano	-0.0883	0.4438	-0.1762
Espesor de grano/Longitud de grano	0.0716	-0.2935	0.3386
Peso de 100 granos	-0.0860	0.4198	0.3822
Volumen de 100 granos	-0.0266	0.4315	0.3594
Valor propio	6.08	3.52	1.48
Varianza explicada	40.59	23.47	9.89
Varianza acumulada	40.59	64.06	73.96

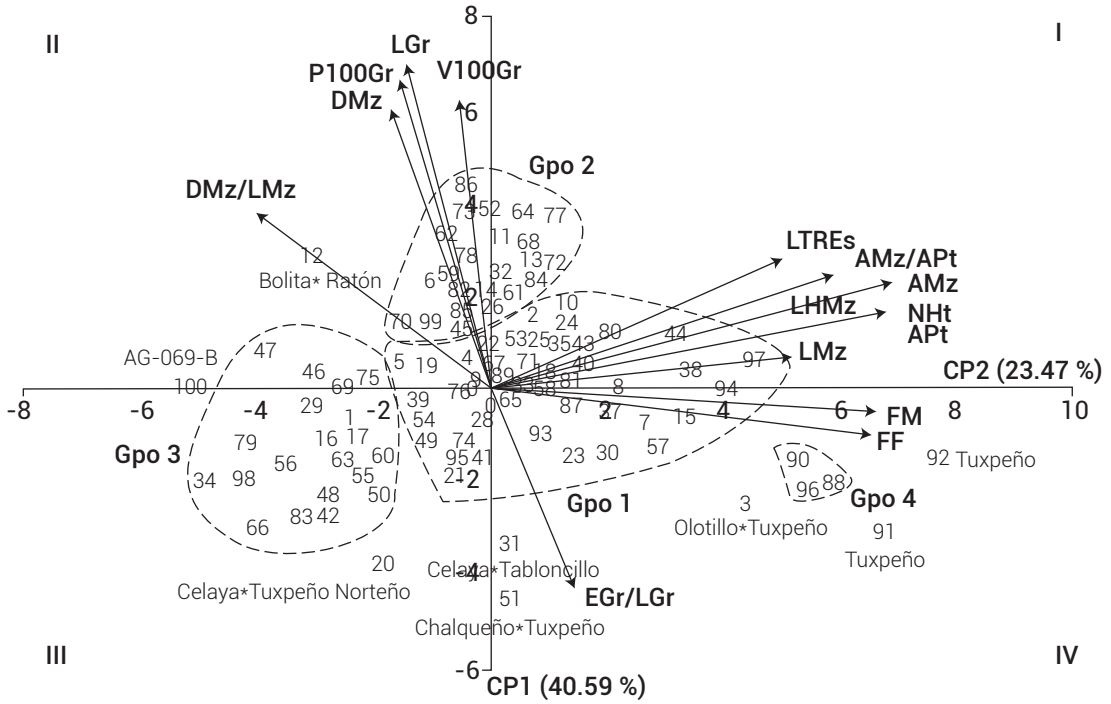


Figura 2. Gráfico de dispersión con base en los dos primeros componentes principales de 98 poblaciones nativas de maíz y los testigos AG-069-B y VS-402. Ciclos O-I 2016-2017 y P-V 2017, Tamaulipas, México.

que los caracteres de mayor importancia en su asociación y distribución fueron EGr/LGr, AMz/APt, LTREs, AMz, NHt, FM y FF. Las poblaciones pertenecen a las razas Elotes Occidentales, Tuxpeño, Olotillo, Ratón, Cónico Norteño, Tabloncillo, Tuxpeño Norteño, Celaya y Vandeño. El Grupo 2 estuvo constituido por 23 poblaciones pertenecientes a las razas Tabloncillo, Ratón, Bolita, Tuxpeño, Tuxpeño Norteño, Elotes Occidentales y Vandeño, cuyos caracteres de mayor importancia en su asociación y distribución fueron P100Gr, LGr, V100Gr y DMz, de este grupo 17 poblaciones son originarias de Jaumave, tres de Tula, una de Palmillas, una de Hidalgo y una de Ciudad del Maíz, San Luis Potosí.

El Grupo 3 estuvo constituido por 20 poblaciones de las razas Tuxpeño Norteño, Elotes Occidentales, Tuxpeño, Nal-Tel, Ratón, Olotillo, Cónico Norteño y la población VS-402, con ocho poblaciones de Miquihuana, cuatro de Jaumave, seis de Tula y una de Hidalgo. El Grupo 4 estuvo formado por tres poblaciones, dos de Tula y una de Ocampo, de las razas Tuxpeño, Tuxpeño Norteño y Olotillo; dichas poblaciones resultaron tardías, con los mayores promedios de altura de planta y mazorca, lo cual, coincide con lo reportado por Wellhausen *et al*. (1952) en su descripción de estas razas.

Los resultados anteriores indican la existencia de variación y heterogeneidad de las poblaciones de maíz que integran los grupos, debido posiblemente a que los agricultores de estos municipios mediante el intercambio y flujo de semillas generan variantes agro-morfológicas (Flores-Pérez *et al*., 2015). El intercambio de semilla ocasiona flujo intenso de germoplasma (Canul-Ku *et al*., 2012; Castro *et al*., 2013) en las diversas condiciones agroecológicas de esta zona en las que se establece el maíz (Guillén-de la Cruz *et al*., 2014; Reséndiz *et al*., 2014). Además, se puede observar que los grupos se distribuyeron a través de los cuatro cuadrantes, similar a lo reportado por Rocandio-Rodríguez *et al*. (2014), lo cual indica la amplia diversidad intra e interespecífica que aún se tiene en los maíces de Tamaulipas (Castro *et al*., 2013; Pecina-Martínez *et al*., 2009).

Análisis de conglomerados

El dendrograma (Figura 3) permite identificar dos grandes grupos: El grupo A y el grupo B, este último se integró por tres subgrupos (I-B, II-B y III-B). El subgrupo I-A se formó con 34 poblaciones y los testigos VS-402 y AG-069-B. Este subgrupo está representado por nueve poblaciones originarias del municipio de Jaumave, ocho de Miquihuana, tres de Palmillas, 11 de Tula, una de Ocampo y dos de Hidalgo, con intervalos de altitudes que oscilan entre los 226 y los 1879 m, y se identificaron las razas Bolita, Ratón, Celaya, Tuxpeño Norteño, Chalqueño, Elotes Occidentales, Nal-Tel, Cónico Norteño y Tuxpeño.

Se observó gran variación de colores de grano, como blanco-cremoso, amarillo claro, naranja, rojo y azul; dicha diversidad de poblaciones distribuidas en el dendrograma

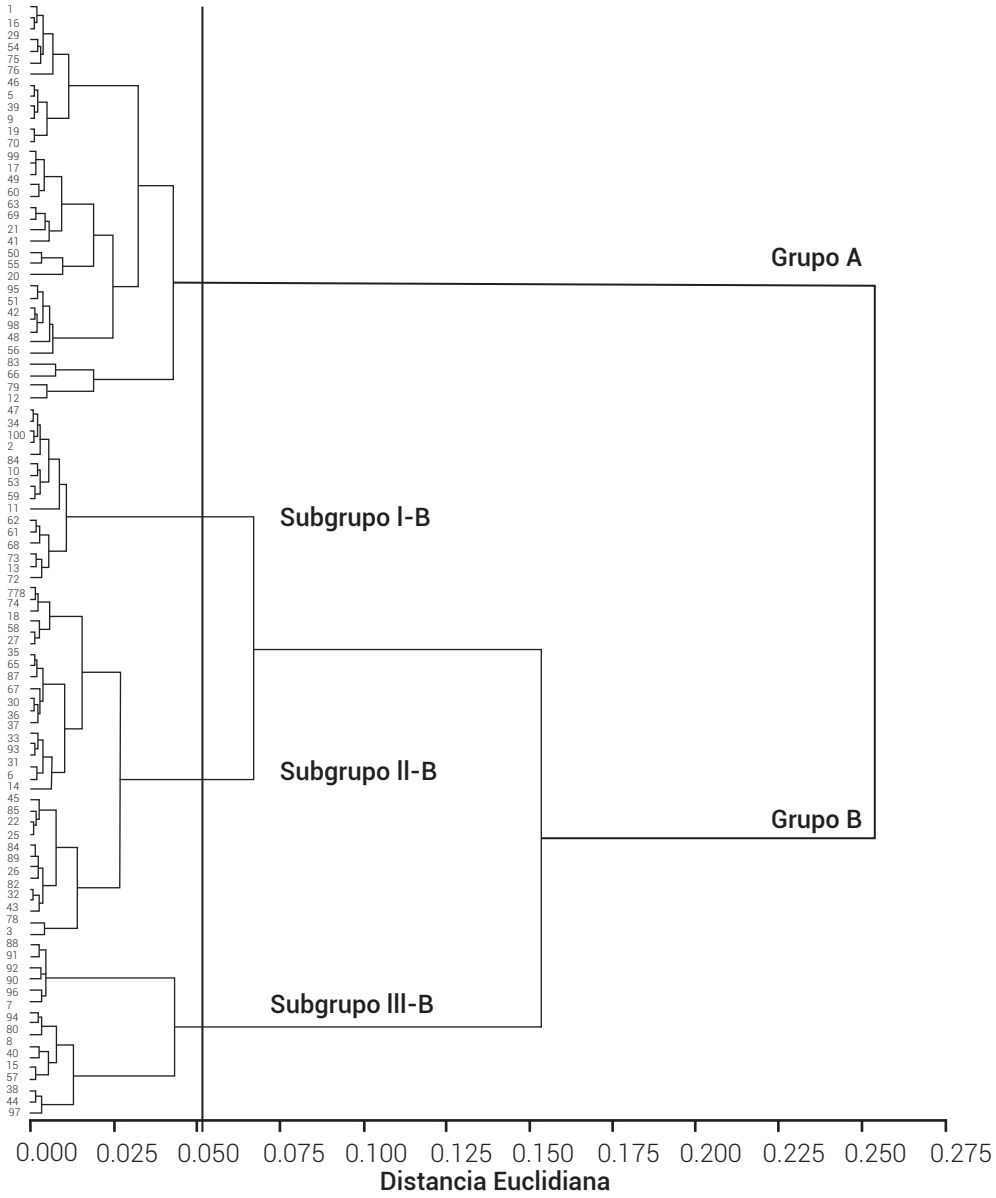


Figura 3. Dendrograma de 98 poblaciones de maíz nativo del Altiplano de Tamaulipas México, y los testigos AG-069-B y VS-402, construido mediante el método Ward con distancias Euclidianas.

está asociada entre otros factores al intercambio de semilla entre los agricultores de la región, debido a que es común que los agricultores que aun utilizan semillas nativas de maíz consigan semilla para siembra en otras comunidades cercanas, lo que da como resultado un amplio flujo génico entre las poblaciones.

El Subgrupo I-B se integró por 15 poblaciones de Jaumave y una de Palmillas, se registraron las razas Ratón, Bolita, Olotillo, Tuxpeño, Tuxpeño Norteño y Vandeño, con altitudes que van desde los 656 hasta los 1907 msnm, y sólo el grano blanco-cremoso fue observado.

El Subgrupo II-B se conformó por 19 poblaciones de Tula, una de San Luis Potosí, cinco de Jaumave, una de Miquihuana, una de Ocampo, cuatro de Palmillas, y una de Villagrán; se identificaron las razas Celaya, Tabloncillo, Elotes Occidentales, Ratón, Tuxpeño y Tuxpeño Norteño, colectadas en altitudes que van desde los 342 hasta los 1716 msnm. Se observaron granos blanco-cremosos, amarillo claro, amarillo medio y sólo en la población de Ocampo se observaron granos de color negro.

El Subgrupo III-B se formó con dos poblaciones de Ocampo, ocho de Tula, una de Palmillas y cinco de Jaumave, donde predominaron las razas Olotillo, Ratón, Tuxpeño y Tuxpeño Norteño, en altitudes que van de los 402 a 1475 msnm. En el municipio de Ocampo se observaron granos blanco-cremoso y negros; en Tula cinco fueron blanco-cremoso, tres de color amarillo con diferente intensidad; las de Palmillas fueron de grano amarillo y de las de Jaumave, dos fueron de color blanco-cremoso y tres de color amarillo. La amplia diversidad de colores de grano y presencia de diferentes razas en los subgrupos pudiera deberse a la selección practicada por los productores sobre la variación existente y a los cruzamientos aleatorios entre las diferentes poblaciones de maíz en la región (Espinosa *et al*., 2009; Pecina-Martínez *et al*., 2009; Reséndiz *et al*., 2014).

Análisis de varianza dentro de grupos poblacionales

Los grupos A y B mostraron diferencias estadísticas en 12 de 15 variables evaluadas; sin embargo, el DMz, LGr y EGr/LGr fueron estadísticamente iguales en ambos grupos. El grupo A destacó por precocidad, con FM de 69.59 d y FF de 74.43 d, característica de importancia agronómica (Reséndiz *et al*., 2014). Los Subgrupos I-B y II-B fueron estadísticamente similares en ocho características, donde sólo la LTREs fue estadísticamente similar en los tres subgrupos. En el Subgrupo III-B se tuvieron los promedios más altos para ocho caracteres y los más bajos para DMz, Dmz/LMz, P100Gr y V100Gr (Cuadro 3).

CONCLUSIONES

Se detectaron diferencias entre los genotipos para caracteres fenológicos, vegetativos, mazorca y de grano. Los caracteres fenológicos y vegetativos fueron los que sustentaron mayormente la diversidad morfológica. Se distinguieron cuatro grupos fenotípicos e identificaron poblaciones de ciclo precoz, intermedio y tardío, donde predominó la raza Ratón. Se mostró una tendencia de colores de grano blanco-cremoso, rojo y azul, así como tipos de grano, dentado, semi-dentado y semi-cristalino. La forma de mazorca predominante fue cónica-cilíndrica. La variación del maíz nativo de Tamaulipas es amplia y continua, en la cual se podrían encontrar alelos de interés para incorporarlos a programas de mejoramiento de maíz.

Cuadro 3. Comparación de medias de los grupos constituidos en el dendrograma de la evaluación de 98 poblaciones de maíces de Tamaulipas, México. Ciclos O-I 2016-2017 y P-V 2017.

Carácter	Grupos		Subgrupos		
	A	B	I-B	II-B	III-B
FM	69.59 b	75.18 a	73.10 b	73.39 b	80.86 a
FF	74.43 b	80.15 a	77.57 b	78.34 b	86.34 a
APt	199.49 b	221.77 a	218.56 b	216.88 b	234.76 a
AltMz	75.62 b	94.01 a	95.85 b	88.00 c	104.19 a
APt/AltMz	0.38 b	0.42 a	0.44 a	0.40 b	0.44 a
NHt	14.77 b	16.46 a	16.49 b	15.87 b	17.62 a
LHMz	75.43 b	81.39 a	80.97 b	80.50 b	83.60 a
LTREs	11.11 b	12.71 a	12.51 a	12.67 a	12.99 a
LMz	13.54 b	14.71 a	14.16 b	14.72 a	15.25 a
DMz	3.91 a	4.00 a	4.30 a	4.01 b	3.70 c
DMz/LMz	0.28 b	0.29 a	0.31 a	0.28 b	0.24 c
LGr	10.95 a	11.18 a	12.00 a	11.01 b	10.69 b
EGr/LGr	0.35 a	0.35 a	0.30 b	0.36 a	0.36 a
P100Gr	25.01 b	26.29 a	27.48 a	26.98 a	23.72 b
V100Gr	37.42 b	40.19 a	41.70 a	41.15 a	36.76 b

Medias con distinta letra por columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). FM: floración masculina, FF: floración femenina, APt: altura de planta, AMz: altura de mazorca, APt/AMz: altura de planta/altura de mazorca, NHt: número de hojas totales, LHMz: longitud de la hoja de la mazorca, LTREs: longitud tramo ramificado de la espiga, LMz: longitud de la mazorca, DMz: diámetro de la mazorca, DMz/LMz: diámetro de la mazorca/longitud de la mazorca, LGr: longitud de grano, EGr/LGr: espesor de grano/longitud de grano, P100Gr: peso de cien granos, V100Gr: volumen de cien granos.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Tamaulipas por el apoyo económico otorgado a través del proyecto de Investigación PFI2015-05.

BIBLIOGRAFÍA

Anderson E. and H. C. Cutler (1942) Races of *Zea mays*: I. Their recognition and classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 29:69-88, https://doi.org/10.2307/2394331

Bird R. M. (1978) A name change for Central American teosinte. *Taxon* 27:361-363, https://doi.org/10.2307/1220377

Cabrera-Toledo J. M., A. Carballo-Carballo, J. A. Mejía-Contreras, G. García-De los Santos y H. Vaquera-Huerta (2019) Caracterización de poblaciones sobresalientes de maíz de la raza Zapalote Chico. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42:269-279, https://doi.org/10.35196/rfm.2019.3.269-279

Cantú A. M. A., C. A. Reyes M. y L. A. Rodríguez B. (2010) La fecha de siembra: una alternativa para incrementar la producción de maíz. Folleto Técnico Núm. 44. Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. Río Bravo, Tamaulipas, México. 40 p.

Canul-Ku J., P. Ramírez-Vallejo, F. Castillo-González, J. L. Chávez-Servia, M. Livera-Muñoz y L. M. Arias-Reyes (2012) Movimiento de polen entre maíces nativos de Yucatán y mantenimiento de diversidad genética. *Ra Ximhai* 8:51-60, https://doi.org/10.35197/rx.08.03.e1.2012.05.jc

Castro N. S., J. A. López S., J. A. Pecina M., M. C. Mendoza C. y C. A. Reyes M. (2013) Exploración de germoplasma nativo de maíz en el centro y sur de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4:645-653, https://doi.org/10.29312/remexca.v4i4.1196

Chambers K. J., S. B. Brush, M. N. Grote and P. Gepts (2007) Describing maize (*Zea mays* L.) landrace persistence in the Bajío of Mexico: a survey of 1940s and 1950s collection locations. *Economic Botany* 61:60-72, https://doi.org/10.1663/0013-0001(2007)61[60:DMZMLL]2.0.CO;2

Contreras-Molina O., A. Gil-Muñoz, P. A. López, D. Reyes-López y J. D. Guerrero-Rodríguez (2016) Caracterización morfológica de maíces nativos de la Sierra Nororiental de Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 17:3633-3647.

Diego-Flores P., J. C. Carrillo-Rodríguez, J. L. Chávez-Servia y F. Castillo-González (2012) Variabilidad en poblaciones de maíz nativo de la Mixteca Baja Oaxaqueña, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo* 44:157-171.

Dulloo M. E., I. Thormann, E. Fiorino, S. De Felice, V. R. Rao and L. Snook (2013) Trends in research using plant genetic resources from germplasm collections: from 1996 to 2006. *Crop Science* 53:1217-1227, https://doi.org/10.2135/cropsci2012.04.0219

Eakin H., H. Perales, K. Appendini and S. Sweeney (2014) Selling maize in Mexico: the persistence of peasant farming in an era of global markets. *Development and Change* 45:133-155, https://doi.org/10.1111/dech.12074

Espinosa T. E., M. C. Mendoza C., F. Castillo G., J. Ortiz C., A. Delgado A. y A. Carrillo S. (2009) Acumulación de antocianinas en pericarpio y aleurona del grano y sus efectos genéticos en poblaciones criollas de maíz pigmentado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32:303-309.

Flores-Pérez L., P. A. López, A. Gil-Muñoz, A. Santacruz-Varela y J. L. Chávez-Servia (2015) Variación intra-racial de maíces nativos del altiplano de Puebla, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo* 47:1-17.

González-Martínez J., M. Rocandio-Rodríguez, J. C. Chacón-Hernández, V. Vanoye-Eligio y Y. del R. Moreno-Ramírez (2018) Distribución y diversidad de maíces nativos (*Zea mays* L.) en el altiplano de Tamaulipas, México. *Agroproductividad* 11:124-130.

González-Martínez J., V. Vanoye-Eligio, J. C. Chacón-Hernándezy M. Rocandio-Rodríguez (2019) Diversidad y caracterización de maíces nativos de la Reserva de la Biósfera "El Cielo", Tamaulipas, México. *CienciaUAT* 14:6-17, https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1246

Guillén-de la Cruz P., E. de la Cruz-Lázaro, S. A. Rodríguez-Herrera, G. Castañón-Nájera, A. Gómez-Vázquez y A. Lozano-del Río (2014) Diversidad morfológica de poblaciones de maíces nativos (*Zea mays* L.) del estado de Tabasco, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo* 46:239-247.

Hastorf C. A. (2009) Río Balsas most likely region for maize domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106:4957-4958, https://doi.org/10.1073/pnas.0900935106

Hernández X. E. y G. Alanís F. (1970) Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: implicaciones filogenéticos y fitogeográficas. *Agrociencia* 5:3-30.

Hortelano S. R., A. Gil M., A. Santacruz V., H. López S., P. A. López y S. Miranda C. (2012) Diversidad fenotípica de maíces nativos del altiplano centro-oriente del estado de Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35:97-109.

IBPGR, International Board for Plant Genetic Resources (1991) Descriptors for Maize. International Maize and Wheat Improvement Center, México City. International Board for Plant Genetic Resources. Rome, Italy. 88 p.

López-Morales F., O. R. Taboada-Gaytán, A. Gil-Muñoz, A. P. López and D. Reyes-López (2014) Morphological diversity of native maize in the humid tropics of Puebla, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 17:19-31.

Mangelsdorf P. C., R. S. MacNeish and W. C. Galinat (1967) Prehistoric maize, teosinte, and Tripsacum from Tamaulipas, Mexico. *Botanical Museum Leaflets, Harvard University* 22:33-63.

Martínez G. A. (1988) Diseños Experimentales. Métodos y Elementos de Teoría. Editorial Trillas. México, D. F. 756 p.

Miranda C. S. (1977) Evolución de cuatro caracteres del maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia* 28:73-88.

Narez-Jiménez C. A., E. de la Cruz-Lázaro, A. Gómez-Vázquez, A. Cruz-Hernández, N. P. Brito-Manzano y C. Márquez-Quiroz (2015) Diversidad morfológica de maíces nativos de la región Grijalva del estado de Tabasco, México. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia* 32:1-20.

Noriero E. L. y Y. C. Massieu T. (2018) Campesinos maiceros en Tlaxcala: viabilidad, caracterización y respuestas ante el maíz transgénico. *Sociedad y Ambiente* 6:179-206.

Pecina M. J. A., M. C. Mendoza C., J. A. López S., F. Castillo G., M. Mendoza R. y J. Ortiz C. (2011) Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34:85-92.

Pecina-Martínez J. A., M. C. Mendoza-Castillo, J. A. López-Santillán, F. Castillo-González y M. Mendoza-Rodríguez (2009) Respuesta morfológica y fenológica de maíces nativos de Tamaulipas a ambientes contrastantes de México. *Agrociencia* 43:681-694.

Perales H. and D. Golicher (2014) Mapping the diversity of maize races in Mexico. *PLoS ONE* 9:e114657, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114657

Piperno D. R., A. J. Ranere, I. Holst, J. Iriarte and R. Dickau (2009) Starch grain and phytolith evidence for early ninth millennium B.P. maize from the Central Balsas River Valley, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106:5019-5024, https://doi.org/10.1073/pnas.0812525106

Quevedo P. D. C., J. Cervantes H., L. Noriero E. y J. M. Zepeda del V. (2017) Maíz: sustento de vida en la cultura Teenek. Comunidad Tamaletom, Tancanhuitz, S.L.P. México. *Revista de Geografía Agrícola* 58:5-19, https://doi.org/10.5154/r.rga.2017.58.002

Rendón-Aguilar B., V. Aguilar-Rojas, M. C. Aragón-Martínez, J. F. Ávila-Castañeda, L. A. Bernal-Ramírez, D. Bravo-Avilez, … y R. Ortega-Packzca (2015) Diversidad de maíz en la Sierra Sur de Oaxaca: conocimiento y manejo tradicional. *Polibotánica* 39:151-174.

Reséndiz R. Z., J. A. López S., F. Briones E., M C. Mendoza C. y S. E. Varela F. (2014) Situación actual de los sistemas de producción de grano de maíz en Tamaulipas, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* 62: 70-76.

Reyes M. C. A., R. Girón C. y E. Rosales R. (1990) Guía para producir maíz en el norte de Tamaulipas. Folleto para Productores Núm. 7. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Campo Experimental Río Bravo. Río Bravo,

Tamaulipas, México. 32 p.

Rocandio-Rodríguez M., A. Santacruz-Varela, L. Córdova-Téllez, H. López-Sánchez, F. Castillo-González, R. Lobato-Ortiz, … y R. Ortega-Paczka (2014) Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de Los Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:351-361.

Sánchez G. J. J., M. M. Goodman and C. W. Stuber (2000) Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54:43-59, https://doi.org/10.1007/BF02866599

Sangermán-Jarquín D. M., M. de la O-Olán, A. J. Gámez-Vázquez, A. Navarro-Bravo, M. Á. Ávila-Perches y R. Schwentesius-Rindermann (2018) Etnografía y prevalencia de maíces nativos en San Juan Ixtenco, Tlaxcala, con énfasis en maíz ajo (*Zea mays* var. *tunicata* A. St. Hil.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 41:451-459, https://doi.org/10.35196/rfm.2018.4.451-459

SAS Institute (2004) Base SAS 9.1 Procedures Guide. SAS Institute. Cary, North Carolina, USA. 1860 p.

Sierra-Macías M., P. Andrés-Meza, A. Palafox-Caballero e I. Meneses-Márquez (2016) Diversidad genética, clasificación y distribución racial del maíz nativo en el estado de Puebla, México. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias* 3:12-21.

Wellhausen E. J., L. M. Roberts, E. Hernández X. and P. C. Mangelsdorf (1952) Races of Maize in Mexico: Their Origin, Characteristics and Distribution. The Bussey Institution of Harvard University. Cambridge, Massachusetts, USA. 236 p.