

Imagen de: Javier González Martínez

Diversidad y caracterización de maíces nativos de la Reserva de la Biósfera “El Cielo”, Tamaulipas, México

Diversity and characterization of native maize from the “El Cielo” Biosphere Reserve, Tamaulipas, Mexico

Javier González-Martínez, Venancio Vanoye-Eligio, Julio Cesar Chacón-Hernández, Mario Rocandio-Rodríguez*

RESUMEN

La diversidad del maíz en México se fundamenta por la presencia de 59 a 64 razas; Tamaulipas como estado productor contribuye a mantener la variabilidad entre razas, especialmente en las regiones aisladas. La reserva de la Biósfera “El Cielo” localizada en una región montañosa, que comprende los municipios de Jaumave, Ocampo, Gómez Farías y Llera de Canales, ha sido escasamente estudiada, a pesar de que existen riesgos de degradación o extinción de poblaciones nativas de maíz, por factores como cambios de uso de suelo y fenómenos naturales. El objetivo de este trabajo fue analizar la diversidad morfológica de poblaciones nativas de maíz de la Reserva de la Biósfera “El Cielo”. Durante los meses de febrero, marzo y abril del 2016, se realizaron recolectas de maíces nativos en los municipios que comprenden la reserva. El tamaño de la muestra varió, entre 20 y 30 mazorcas de cada población, y de estas, se eligieron 10 mazorcas para registrar variables cuantitativas y cualitativas. Se utilizaron los métodos multivariados de análisis de componentes principales y conglomerados. El 62.45 % correspondió a la variación total, la cual fue explicada por los dos primeros componentes principales, y las variables con mayor contribución a la variación fueron longitud de mazorca, número de granos por hilera, peso de mazorca, peso y volumen de 100 granos, diámetro de mazorca y de olote, número de hileras por mazorca y la relación diámetro/longitud de mazorca. En las poblaciones nativas de maíz que aún se cultivan en la Reserva de la Biósfera “El Cielo”, se encontró amplia diversidad morfológica de mazorca, así como variación en la combinación de colores de grano y olote, lo que sugiere que las poblaciones nativas representan un amplio potencial como acervo genético y reservorio de genes.

PALABRAS CLAVE: componentes principales, maíz, poblaciones nativas.

ABSTRACT

The diversity of maize in Mexico is based on the presence of breeds that range from 59 to 64 varieties. Tamaulipas is a corn-producing state that contributes to sustain this enormous variation of breeds, especially in isolated regions. The biosphere ecological reserve “El Cielo” is located in a mountainous region, which comprises Jaumave, Ocampo, Gómez Farías and Llera de Canales municipalities. This region has been scarcely studied in spite of the degradation or extinction risks of native populations of maize due to factors such as changes in land use and natural phenomena. The objective of this work was to analyze the morphologic diversity of native maize varieties of “El Cielo” biosphere ecological reserve. Native maize harvests were collected in the municipalities that comprise the reserve during the months of February, March and April of 2016. The sample size ranged between 20 and 30 cobs of each variety, out of this sample 10 cobs were selected in order to register quantitative and qualitative variables. A multivariate analysis method of main components and conglomerates was used. Results show that 62.45 % of the samples were correspondent with total variation, which was explained by the first two main components. The variables with greater contribution to the variation were cob length, number of grains per row, cob weight, weight and volume of 100 grains, cob diameter, number of rows per cob and the relation of diameter/length in each cob. The native maize populations that are still cultivated at the biosphere ecological reserve “El Cielo” there was a wide morphological diversity of cob, as well as variation in the combination of grain and corncob color. This suggests that native populations possess a substantial potential as a gene pool and gene reservoir.

KEYWORDS: main components, maize, native populations.

*Correspondencia: mrocandio@docentes.uat.edu.mx/ Fecha de recepción: 1 de agosto de 2018/ Fecha de aceptación: 9 de abril de 2019/ Fecha de publicación: 29 de julio de 2019

Universidad Autónoma de Tamaulipas, Instituto de Ecología Aplicada, División del Golfo 356, col. Libertad, Cd. Victoria, Tamaulipas, México, C. P. 87019.

INTRODUCCIÓN

El maíz tiene gran demanda comercial a nivel mundial por sus múltiples usos, tanto en la industria como en el sector pecuario y en la alimentación humana. En gastronomía, se utiliza el grano y el elote para la preparación de platillos muy variados (Diego-Flores y col., 2012).

Una de las ventajas de este cultivo es la enorme diversidad de especies, mismas que se tiene gran interés en conservar, a nivel nacional y mundial a través de bancos de genes (Contreras-Toledo y col., 2018).

Este cultivo tiene el más controvertido origen y, actualmente existen diversas opiniones sobre su posible antecesor. Sin embargo, la mayoría de los genetistas están de acuerdo que el maíz se deriva del *teocintle*, por su gran parentesco cromosómico, de planta y su facilidad de entrecruzamiento. La presencia de parientes silvestres como *teocintle* y *Tripsacum* (Bird, 1978; Matsuoka y col., 2002) y los registros históricos sobre la primera domesticación, que la sitúan entre los 6 000 y 10 000 años de antigüedad en el suroeste de México (Mangelsdorf y col., 1967; Pérez y col., 2017); así como la existencia aproximada de 59 a 64 razas (Sánchez y col., 2000), son algunos de los factores que han permitido que Mesoamérica y principalmente México, sean consideradas centros de origen, domesticación y diversificación de este cultivo (Hastorf, 2009; Sierra-Macías y col., 2016; Contreras-Toledo y col., 2018).

En este sentido, los procesos organizados, tanto biológicos como antropocéntricos, además de la selección y adaptación, a través de regiones, condiciones socioeconómicas y biotipos ecológicos diferentes, han generado distintas combinaciones que incrementan la diversidad de maíz (Pérez y col., 2017). Esta diversidad de razas de maíz, conserva, utiliza y sostiene la alimentación básica de México (Kato y col., 2009), lo que indica que las poblaciones nativas son los principales actores de la lógica campesina del país. Lo cual da como resultado que los maíces nati-

vos se seleccionen, produzcan, conserven, diversifiquen y domestiquen en base en las necesidades de los habitantes rurales (Escalante y Trigo, 2018).

Las razas Celaya, Chalqueño y Tuxpeño, destacan por su alta capacidad productiva y forman parte del germoplasma que soporta parte de la producción alimentaria a nivel mundial. Sin embargo, la erosión de la diversidad genética *in situ*, en ciertas regiones del país, ha impactado en estas razas (Bedoya-Salazar y col., 2017). La preocupación de que esto suceda ha dado lugar a múltiples investigaciones, destinadas a describir y comprender los factores que influyen en la diversidad de las poblaciones de maíz de los agricultores mexicanos (Rocandio-Rodríguez y col., 2014).

Tamaulipas se encuentra localizado en el noreste de México y está constituido por 43 municipios, de los cuales, 37 se consideran productores de maíz (Cantú y col., 2010). Distintos estudios han señalado que el maíz nativo de Tamaulipas predomina por su capacidad de adaptación a condiciones agroclimáticas adversas, amplia diversidad genética y características agronómicas sobresalientes (precocidad), además de presentar estabilidad en diferentes ambientes (Reséndiz y col., 2014). Se ha reportado que los municipios de Llera, Hidalgo, Nuevo Morelos y Tula, situados en el centro y sur del estado, destacan por su diversidad y distribución de maíz nativo; con la presencia de las razas Tuxpeño, Tuxpeño Norteño, Ratón, Olotillo y Cónico Norteño (Reséndiz y col., 2014; González-Martínez y col., 2018).

La Reserva de la Biósfera “El Cielo”, forma parte de los municipios de Llera, Gómez Farías, Jaumave y Ocampo. En ella existe diversidad morfológica de maíces locales y la presencia de *Tripsacum*, ambos factores son evidencias botánicas y arqueológicas que han contribuido a definirla como parte del área filogeográfica de origen y domesticación del maíz (MacNeish, 1958; Smith, 1997). Uno de los problemas en el pasado de la región montaño-

sa del estado de Tamaulipas, era su restringido acceso, lo que en años recientes se ha solucionado, debido a que ahora se ubica la Reserva de la Biósfera “El Cielo”, la cual, brinda la oportunidad de evaluar la diversidad de maíz nativo desarrollado, mantenido y aprovechado en dicho lugar. Sin embargo, se requiere de información actualizada de su estado de conservación, ya que la diversidad del germoplasma de maíz fue estudiada a fines del siglo pasado (Ortega y col., 1991).

El objetivo de este trabajo fue analizar la diversidad morfológica de las poblaciones nativas de maíz de la Reserva de la Biósfera “El Cielo”, Tamaulipas, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron 44 poblaciones nativas de maíz (Tabla 1) durante febrero, marzo y abril de 2016, en los municipios que comprenden la Reserva de la Biósfera “El Cielo”, la cual, es considerada como parte del área central de

■ **Tabla 1. Datos pasaporte de las 44 poblaciones nativas de maíz.**
Table 1. Passport data of 44 native maize populations.

Recolecta	Donador	Municipio	Altitud (m)	Latitud N	Longitud W
IEA-1	Norma Bolaños	Gómez Farías	920	23.0615306	- 99.1995111
IEA-2	Adelfo Serrano	Gómez Farías	940	23.0597167	- 99.1984611
IEA-3	Adelfo Serrano	Gómez Farías	920	23.0580806	- 99.1967528
IEA-4	Cruz Rodríguez	Gómez Farías	350	22.8837389	- 99.0248444
IEA-5	Rosalio Solís	Gómez Farías	922	23.05525	- 99.1975833
IEA-6	Víctor Berrones	Gómez Farías	922	23.0579972	- 99.1956472
IEA-7	Cipriano Arvizu	Gómez Farías	160	22.9854583	- 99.13035
IEA-8	Lino Arvizu	Gómez Farías	160	22.9831528	- 99.1273917
IEA-9	Lino Arvizu	Gómez Farías	160	22.9860278	- 99.1326139
IEA-10	Elías Esquivel	Gómez Farías	402	24.3090611	- 99.5091611
IEA-11	Ignacio Esquivel	Gómez Farías	403	24.3091278	- 99.5108944
IEA-12	Norma Solís	Jaumave	770	23.4493444	- 99.35385
IEA-13	Arón Velázquez	Jaumave	1 202	23.0636389	- 99.4718889
IEA-14	Arón Velázquez	Ocampo	1 202	23.0629639	- 99.4710306
IEA-15	Saúl Velázquez	Ocampo	1 202	23.0622639	- 99.4740167
IEA-16	Mariano Velázquez	Ocampo	1 202	23.0648139	- 99.4733861
IEA-17	Guadalupe Velázquez	Ocampo	1 167	23.0608417	- 99.4733444
IEA-18	Silverio Velázquez	Ocampo	1 211	23.0620583	- 99.4751611
IEA-19	Pedro Velázquez	Ocampo	1 211	23.0637583	- 99.4742139
IEA-20	Pedro Velázquez	Ocampo	1 211	23.0622556	- 99.4729139
IEA-21	Mariano Velázquez	Ocampo	1 257	23.0631278	- 99.4746611
IEA-22	Juan Velázquez	Ocampo	1 207	23.062825	- 99.4739528
IEA-23	Silvino Velázquez	Ocampo	1 213	23.06415	- 99.4735472
IEA-24	Manuel Velázquez	Ocampo	1 213	23.0627917	- 99.4749889
IEA-25	Manuel Velázquez	Ocampo	1 213	23.0638389	- 99.4727806
IEA-26	Severiano Martínez	Jaumave	1 027	23.1078806	- 99.46225
IEA-27	Isidro Mureño	Jaumave	681	23.4495972	- 99.33945
IEA-28	Bernardo Castillo	Jaumave	820	23.3705111	- 99.405425
IEA-29	Cipriano Rico	Jaumave	629	23.4783861	- 99.3093222
IEA-30	Benito Contreras	Jaumave	629	23.4765944	- 99.3089972
IEA-31	Juan José Rodríguez	Jaumave	643	23.4232083	- 99.3152056
IEA-32	Alfonso Reyes	Jaumave	686	23.4507056	- 99.3382694
IEA-33	Anacleto Ibarra	Jaumave	686	23.4485722	- 99.3404972
IEA-34	Román Moreno	Jaumave	704	23.4493444	- 99.35385

Continúa...

IEA-35	Marcos Castañez	Jaumave	620	23.4654833	- 99.3039639
IEA-36	Xenón Ibarra	Jaumave	622	23.4633333	- 99.3029667
IEA-37	Alberto Martínez	Jaumave	701	23.4704278	- 99.3440694
IEA-38	Agustín Márquez	Jaumave	755	23.4166139	- 99.3833083
IEA-39	Francisco Reyes	Jaumave	755	23.4164472	- 99.3834833
IEA-40	Juan Gallardo	Jaumave	847	23.3481139	- 99.4241333
IEA-41	Juan Gallardo	Jaumave	853	23.3486722	- 99.4276222
IEA-42	Martín Grimaldo	Jaumave	624	23.4653778	- 99.30265
IEA-43	José Leonel Tinajero	Jaumave	645	23.4235944	- 99.3141972
IEA-44	Hermelindo Juárez	Jaumave	645	23.4239278	- 99.3159778

IEA = Instituto de Ecología Aplicada (clave interna de identificación de recolectas en el banco de germoplasma).

diversidad genética de maíces nativos y parientes silvestres en el estado de Tamaulipas (Mangelsdorf y col., 1967). Cada recolecta fue definida con base en el número de mazorcas proporcionadas por el productor (entre 20 y 30) para después recabar antecedentes como coordenadas geográficas del sitio (expresadas en grados decimales), características y condiciones sobre el manejo del cultivo, así como el nombre del agricultor, entre otros (datos pasaporte) (Tabla, 1999).

VARIABLES EVALUADAS

Para la caracterización morfológica, se midieron 10 mazorcas representativas de cada recolecta, en las cuales, se midieron las variables cuantitativas: longitud de mazorca (LM), medida en cm, con un estadal registrado, desde la base de la mazorca hasta el ápice de la misma; diámetro de mazorca (DM), se tomó como el grosor de la mazorca en la parte central, medido con vernier digital (Mitu-toyo, Modelo CD-8"AX, Kanagawa Japón) y expresado en cm; número de hileras (NH), contabilizados en la parte central de cada mazorca muestreada, se obtuvo el promedio; número de granos (NG), estos fueron medidos en una hilera representativa de cada mazorca muestreada tomándose el promedio; peso de mazorca (PM), se obtuvo de cada una de las mazorcas muestreadas de cada recolecta, y se registró el peso seco de las mismas, expresado en gramos; diámetro de olote (DO), se tomó como el grosor del olote en la parte central, medido con vernier y expresado en cm; se eligieron 10 granos de la parte media de cada mazorca muestreada

para medirles en mm longitud de grano (LG), ancho de grano (AG) y grosor de grano (GG), documentando el promedio de los 10 granos; con los datos obtenidos se estimaron las relaciones diámetro de mazorca/longitud de mazorca (DM/LM), ancho de grano/longitud de grano (AG/LG), grosor de grano/longitud de grano (GG/LG). Así mismo, se formó una muestra con 100 granos de las 10 mazorcas muestreadas y se obtuvo su peso (P100G) en gramos, los mismos 100 granos se colocaron en una probeta y se registró el volumen (V100G) en mm. Y de acuerdo con el descriptor para maíz (IBPGR, 1991), se documentaron las variables cualitativas: disposición de hileras de mazorca (DHM), tipo de grano (TG), color de grano (CG), color de olote (CO) y forma de mazorca (FM) (Tabla 2).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se obtuvo la estructura de la correlación de cada población (recolecta) y las variables morfológicas con el Análisis de Componentes Principales (ACP) (Rawlings, 1988). La estimación del número ideal de agrupaciones se definió con base en el método no paramétrico de agrupación MODECLUS y, se realizó el análisis de conglomerados con la matriz de distancias euclidianas y el método de agrupamiento de mínima varianza dentro de grupos de Ward. Todos los análisis estadísticos fueron efectuados en SAS V.9.0 (SAS, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En Jaumave se ubicó el 48 % de las 44 recolectas de poblaciones nativas de maíz, dentro

■ **Tabla 2. Variables cualitativas de las 44 poblaciones nativas de maíz.**
 Table 2. Qualitative variables of 44 native maize populations.

Recolecta	FM	DHM	TG	CG	CO	Recolecta	FM	DHM	TG	CG	CO
IEA-1	3	1	2	4	1	IEA-23	3	3	4	3	1
IEA-2	3	1	3	2	1	IEA-24	3	3	4	3	1
IEA-3	3	3	3	3	1	IEA-25	2	3	4	3	1
IEA-4	2	1	4	5	8	IEA-26	3	3	4	3	8
IEA-5	3	3	4	5	1	IEA-27	3	3	6	3	1
IEA-6	3	1	2	4	1	IEA-28	3	3	2	3	1
IEA-7	3	1	4	2	8	IEA-29	3	3	3	2	1
IEA-8	3	1	4	2	8	IEA-30	3	3	3	10	8
IEA-9	3	3	3	2	1	IEA-31	2	3	3	2	8
IEA-10	2	3	4	2	1	IEA-32	3	3	4	4	1
IEA-11	3	3	4	2	1	IEA-33	3	3	2	8	8
IEA-12	3	1	4	2	8	IEA-34	3	3	4	2	1
IEA-13	3	3	2	3	1	IEA-35	3	3	3	2	1
IEA-14	3	3	2	5	1	IEA-36	3	3	4	2	1
IEA-15	3	3	4	3	8	IEA-37	3	3	3	2	1
IEA-16	3	3	3	6	1	IEA-38	3	3	3	2	8
IEA-17	3	3	3	2	1	IEA-39	3	3	3	2	1
IEA-18	3	3	4	3	1	IEA-40	3	1	3	2	1
IEA-19	3	3	4	2	1	IEA-41	3	3	3	2	1
IEA-20	3	3	4	3	1	IEA-42	3	3	4	2	1
IEA-21	3	3	4	5	5	IEA-43	3	3	4	2	1
IEA-22	2	3	2	5	1	IEA-44	2	3	4	2	1

FM = forma de mazorca: 1 = cónica, 2 = cónica-cilíndrica, 3 = cilíndrica. DHM = disposición de hileras de mazorca: 1 = regular, 2 = irregular, 3 = recta, 4 = espiral. TG = tipo de grano: 1 = harinoso, 2 = dentado, 3 = semi-dentado, 4 = semi-cristalino, 5 = cristalino, 6 = reventador, 7 = dulce, 8 = ceroso, 9 = semi-harinoso. CG = color de grano: 1 = blanco, 2 = blanco cremoso, 3 = amarillo claro, 4 = amarillo medio, 5 = amarillo naranja, 6 = naranja, 7 = rojo naranja, 8 = rojo, 9 = rojo oscuro, 10 = azul, 11 = azul oscuro, 12 = negro, 13 = café. CO = color de olote: misma escala que los colores de grano.

de la zona de la Reserva de la Biósfera “El Cielo”, Tamaulipas, por lo que se consideró como el municipio con mayor distribución de maíces nativos, seguido de Ocampo 27 % y Gómez Farías 25 %. Se obtuvo una mayor frecuencia de recolectas (30) en las zonas de altitudes bajas (< 1 000 msnm) con respecto a las poblaciones localizadas (14) en altitudes intermedias (1 001 msnm a 1 800 msnm) en una relación ~2:1. Los maíces presentaron diferencia significativa ($P < 0.05$) en 8 de los 14 parámetros evaluados (57.14 %), encontrándose poca variabilidad entre los maíces muestreados en Gómez Farías y Jaumave, pero estos fueron diferentes a los obtenidos de Ocampo (Tabla 3). Lo anterior po-

dría deberse a que, en los primeros dos municipios, los agricultores tuvieran una relación de intercambio de semillas, pese a que la distancia entre Gómez Farías y Jaumave es mayor que la distancia entre Gómez Farías y Ocampo. Otro factor que puede estar influyendo es la condición de altitud similar en las que se encontraron las recolectas en los municipios mencionados con respecto a Ocampo (Diego-Flores y col., 2012; Rocandio-Ramírez y col., 2014) (Tablas 1 y 3).

Análisis de componentes principales

Los valores y vectores del análisis de los 3 primeros componentes principales (CP) muestran que el CP1 explicó el 30.58 %, el CP2

■ **Tabla 3. Cuadrados medios y significancia estadística del análisis de varianza entre los municipios de Gómez Farías, Jaumave y Ocampo de 44 poblaciones nativas de maíz.**

Table 3. Mean squares and statistical significance of the analysis of variance between 44 native populations of maize in Gómez Farías, Jaumave and Ocampo municipalities.

Variable	Poblaciones	Municipios	Gómez Farías	Jaumave	Ocampo	CV
LM (cm)	11.49 **	74.03 **	15.47 b	15.52 b	19.62 a	11.68
DM (cm)	0.84 **	0.57 *	4.00 a	4.23 a	3.86 b	10.83
NH	10.71 **	0.032 **	11.23 ab	12.09 a	10.15 b	11.20
NG	86.05 **	14.46 **	38.78 b	38.30 b	49.66 a	12.70
PM (g)	2479 **	547.99 *	146.65 ab	138.80 b	181.00 a	29.20
DO (cm)	0.64 **	7 032.38 **	2.15 ab	2.35 a	1.75 b	21.52
LG (mm)	3.47 **	1.37 ns	12.06 a	12.61 a	13.06 a	10.79
AG (mm)	0.004 2 **	2.89 ns	9.21 a	9.38 a	9.74 a	9.14
GG (mm)	0.05 **	0.84 ns	3.80 a	3.84 a	3.70 a	12.33
DM/LM	0.0031 **	0.074 **	0.27 a	0.29 a	0.20 b	16.89
AG/LG	0.013 **	0.000 6 ns	0.76 a	0.75 a	0.75 a	11.85
GG/LG	0.003 4 **	0.008 7 ns	0.32 a	0.32 a	0.28 a	31.31
P100G (g)	35.93 **	120.94 *	31.70 a	29.52 b	35.15 a	20.87
V100G (g)	5.63 **	192.45 ns	45.72 a	44.85 a	51.70 a	21.01

^{ab}Promedios con distinta literal por columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $P < 0.05$); LM: longitud de mazorca; DM: diámetro de mazorca; NH: número de hileras por mazorca; NG: número de granos por hilera de mazorca; PM: peso de mazorca; DO: diámetro de olote; LG: longitud de grano; AG: ancho de grano; GG: grosor de grano; DM/LM: diámetro de mazorca/longitud de mazorca; AG/LG: ancho de grano/longitud de grano; GG/LG: grosor de grano/longitud de grano; P100G: peso de 100 granos; V100G: volumen de 100 granos.

19.78 % y el CP3 12.09 %, dando como resultado la explicación, en forma acumulada, del 62.45 % de la variación total (Tabla 4). Con base en el valor de sus vectores, las variables de mayor importancia en el CP1, fueron LM, NG, PM, LG, P100G y V100G, lo cual permite identificar poblaciones nativas con los componentes de rendimiento de grano mayores. Mientras que para el CP2, lo definieron variables de DM, DO, NH y DM/LM, asociadas con la morfología de los maíces. En tanto que, en el CP3, las características de GG y la relación de AG/LG y GG/LG, asociadas a la morfología del grano, fueron las más destacables .

Con base al análisis MODECLUS, cuya definición se basó en un radio de la hiper-esfera de exploración $R = 0.9$ (SAS, 2002), se identificaron 5 grupos poblacionales distintos. La dispersión de las poblaciones muestra un continuo, distribuyéndose a lo largo y ancho

de la Figura 1. Así mismo, las recolectas 2, 3, 4, 8, 10, 11, 12, 14, 20, 25, 27, 30, 31 y 40 no fueron asociadas a ningún grupo poblacional. Estos resultados indican la amplia diversidad que existe en los maíces nativos, distribuidos en la reserva de “El Cielo” (Flores-Pérez y col., 2015; Pecina-Martínez y col., 2009).

El Grupo 1, se integró por 14 poblaciones de Jaumave y 4 de Gómez Farías (Figura 1); el total de las poblaciones fueron provenientes de altitudes bajas ($< 1\ 000$ m) Tabla 1; cabe destacar que este grupo mostró la mayor variación y heterogeneidad. Además, se observó que las variables de mayor importancia en su asociación y distribución fueron la relación DM/LM, NH, DO y DM. Con FM c cristalino en su gran mayoría, TG semi-cristalino, dentado y semi-dentado, y de CG blanco cremoso, principalmente (Tabla 2).

■ **Tabla 4. Valores y vectores propios de los tres primeros componentes principales (CP) que describen la variación morfológica de mazorca de las 44 poblaciones nativas de maíz.**

Table 4. Values and eigenvectors of the first three main components (CP) that describe the morphological variation of each of the 44 native maize populations.

Variables	CP1	CP2	CP3
LM (cm)	0.370	- 0.146	0.084
DM (cm)	0.153	0.458	- 0.098
DM/LM	- 0.228	0.368	- 0.097
NH	- 0.135	0.371	- 0.217
NG	0.312	0.269	- 0.062
PM (g)	0.383	0.099	- 0.062
DO (cm)	- 0.079	0.405	0.035
LG (mm)	0.309	0.130	- 0.261
AG (mm)	0.283	0.076	0.317
GG (mm)	- 0.001	0.282	0.423
AG/LG	- 0.090	- 0.053	0.560
GG/LG	- 0.142	0.122	0.418
P100G (g)	0.344	0.145	0.136
V100G (g)	0.347	0.182	0.139
FM	0.115	0.109	- 0.155
DHM	0.075	- 0.140	0.006
TG	- 0.159	- 0.187	0.079
CG	0.133	- 0.037	0.028
CO	- 0.106	- 0.066	- 0.101
Valor propio	5.81	3.79	2.29
Varianza explicada (%)	30.58	19.78	12.09
Varianza acumulada (%)	30.58	50.36	62.45

LM: longitud de mazorca; DM: diámetro de mazorca; NH: número de hileras por mazorca; NG: número de granos por hilera de mazorca; PM: peso de mazorca; DO: diámetro de olote; LG: longitud de grano; AG: ancho de grano; GG: grosor de grano; DM/LM: diámetro de mazorca/longitud de mazorca; AG/LG: ancho de grano/longitud de grano; GG/LG: grosor de grano/longitud de grano; P100G: peso de 100 granos; V100G: volumen de 100 granos; DHM: disposición de hileras de mazorca; TG: tipo de grano; CG: color de grano; CO: color de olote; FM: forma de mazorca.

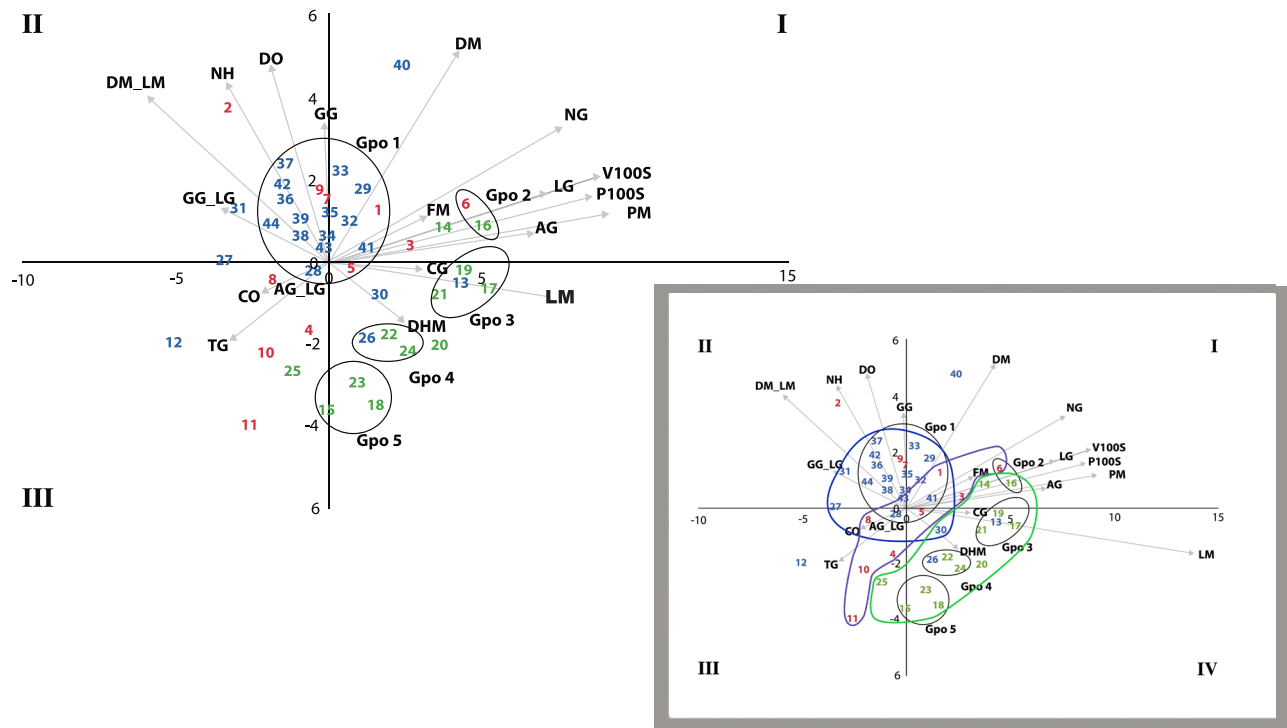
El Grupo 2, se conformó con 2 poblaciones (Figura 1), que fueron las de mayor TG, de las cuales, una procede de altitudes bajas (< 1 000 m) del municipio de Gómez Farías, y la otra de Ocampo, de altitudes intermedias (1 001 m a 1 800 m) (Tabla 1). Con FM cónica-cilíndrica, TG dentado y semi-dentado, así como CG naranja y amarillo medio (Tabla 2).

El Grupo 3, se integró con 3 poblaciones de Ocampo y 1 de Jaumave (Figura 1), pertenecientes a altitudes intermedias (1 001 m a 1 800 m) (Tabla 1). Este grupo mostró mayor

FM cilíndrica, de grano dentado, semi-dentado y semi-cristalino y CG amarillo claro, blanco cremoso y amarillo naranja (Tabla 2).

El Grupo 4, se conformó con 2 poblaciones de Ocampo y 1 de Jaumave (Figura 1); el total de las poblaciones se encontraron en altitudes intermedias (1 001 m a 1 800 m) (Tabla 1). Con FM cónica-cilíndrica y cilíndrica, TG dentado, y un CG amarillo-naranja y amarillo claro (Tabla 2).

El Grupo 5, se formó con 3 poblaciones de Ocampo (Figura 1), donde el total de las po-



■ Figura 1. Dispersión de las 44 poblaciones nativas de maíz.
 Figure 1. Dispersion of 44 native maize populations.

blaciones se encontraron en altitudes intermedias (1 001 m a 1 800 m) (Tabla 1). Con FM cilíndrica, TG semi-cristalino y CG amarillo claro (Tabla 2).

Es importante observar que las poblaciones muestreadas en Ocampo se ubican hacia fuera en los cuadrantes IV, I y III, en tanto que las poblaciones de Jaumave tienden a ubicarse más hacia el centro, en el cuadrante II y I. Las poblaciones de Gómez Farías se ubican principalmente en un sitio intermedio de las otras dos poblaciones.

Análisis de conglomerados

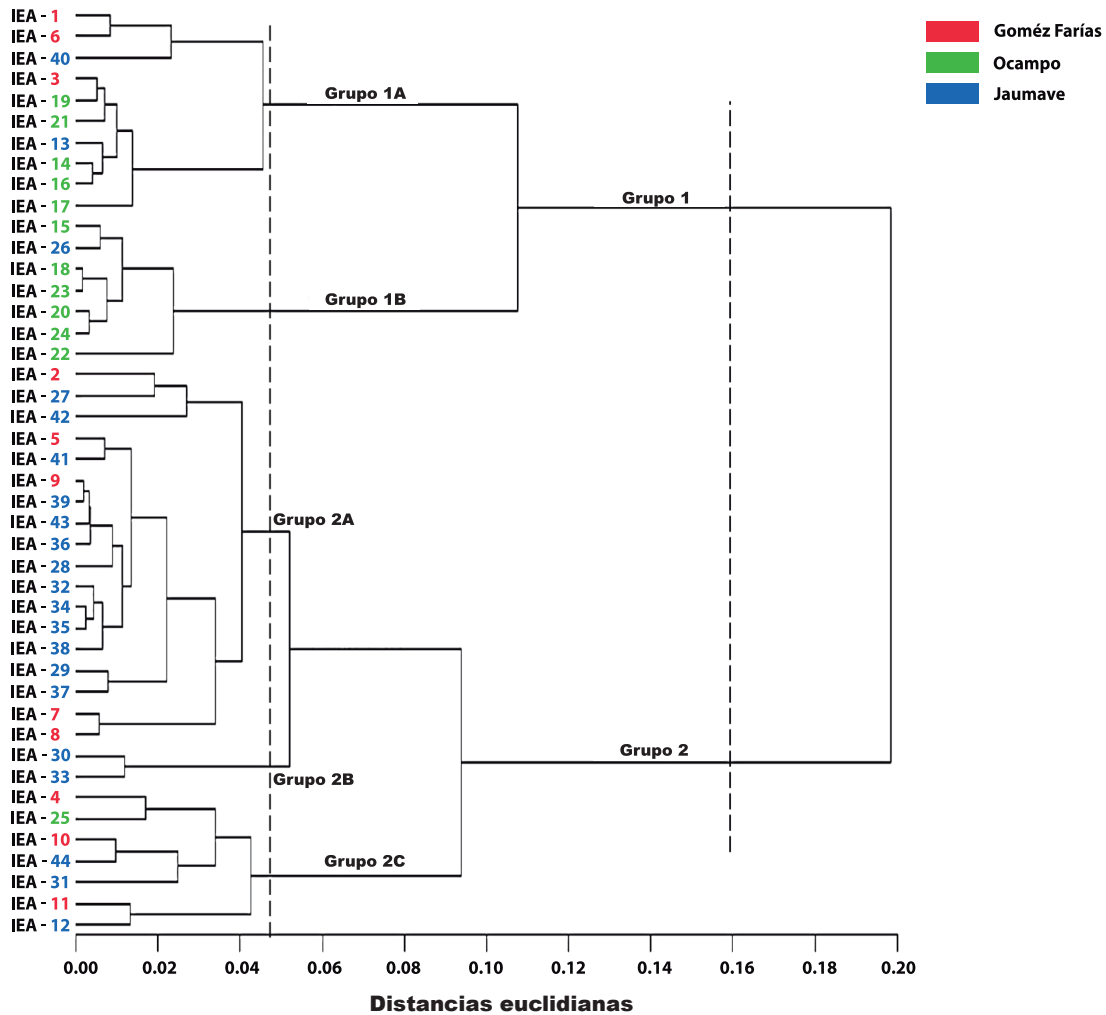
El agrupamiento con base en los CP (Figura 1) concordó con el análisis de conglomerados (Figura 2), donde se puede apreciar que a una distancia euclidiana de 0.16 unidades, separa a las poblaciones en 2 grandes grupos; estos a su vez a una distancia euclidiana de 0.05 unidades definieron 5 sub-grupos. La separación dentro de los Grupos 1 y 2, se asoció al origen geográfico. En el grupo I, se ubicaron la mayoría de las poblaciones de

Ocampo, y en el grupo 2, las de Jaumave. La morfología de grano suele influir en este tipo de agrupamiento (Hortelano y col., 2012).

El grupo 1A se conformó por 5 de Ocampo, 3 de Gómez Farías y 2 de Jaumave (Figura 1); tuvo los mayores promedios de PM (215.13 g), AG (10.46 mm), P100G (40.60 g) y V100G (60.60 mm) (Tabla 5). Dichas poblaciones mostraron mazorcas cilíndricas, DH rectas, TG semi-dentado y CG blanco cremoso como rasgos característicos (Tabla 2).

Por su parte, el grupo 1B se formó por 6 poblaciones, pertenecientes al municipio de Ocampo y 1 de Jaumave (Figura 2); este conglomerado mostró los menores promedios de NH (10.24), DO (1.56 mm) y GG (3.22 mm) (Tabla 5). Por otra parte, sus mazorcas fueron cilíndricas, DH rectas, TG semicristalino y CG amarillo claro (Tabla 2).

El grupo 2A, relacionó 18 poblaciones, 13 de Jaumave y 5 de Gómez Farías; presentó los más altos promedios de DM/LM (0.30), y se



■ Figura 2. Dendrograma de las 44 poblaciones nativas de maíz. Construido mediante el método de WARD.

Figure 2. Dendrogram of 44 native maize populations. Built using the WARD.

caracterizó por presentar mazorcas cilíndricas, DH rectas, TG semi-cristalino y CG blanco cremoso.

El grupo 2B se integró únicamente por 2 poblaciones, ambas originarias de Jaumave (Figura 1); este conglomerado mostró los mayores promedios en DM (4.50), NH (12.80) y DO (2.45) (Tabla 5); presentó mazorcas cilíndricas, DH rectas, TG semi-dentado y CG blanco cremoso (Tabla 2).

Por su parte, el grupo 2C se conformó por 7 poblaciones, una procedente de Ocampo, 3 de Gómez Farías y 3 de Jaumave (Figura 1); cabe resaltar que este grupo mostró los valores

más bajos de LM (14.4 cm), PM (89.00 g), LG (10.84 mm), AG (8.88 mm), P100G (24.02 g) y V100G (36.28 mm) (Tabla 5). La descripción morfológica obtenida permite inferir que estas poblaciones pudieran pertenecer a las razas Tuxpeño, Vandeño, Cónico u Olotillo (Wellhausen y col., 1952) (Tabla 6). Sin embargo, un análisis molecular podría corroborar la existencia de las razas mencionadas.

La diversidad racial y variación morfológica de las poblaciones locales de maíz podría estar asociada a criterios de selección, uso de sistemas de producción, intercambio de semilla entre los agricultores, y la influencia de la interacción ecológica, representada por

■ **Tabla 5. Promedios de grupos y subgrupos del dendrograma donde se incluyeron 14 variables cuantitativas, así como 44 poblaciones de maíz nativo.**

Table 5. Averages of groups and subgroups of the dendrogram where 14 quantitative variables were included, as well as 44 populations of native maize.

Variable	Grupos		Grupos				
	1	2	1A	1B	2A	2B	2C
LM (cm)	19.30	14.94	19.68	18.77	15.05	15.85	14.41
DM (cm)	4.08	4.07	4.39	3.66	4.24	4.50	3.50
NH	10.49	11.88	10.67	10.24	12.31	12.80	10.52
NG	48.52	37.11	46.35	51.64	36.98	40.20	36.55
PM (g)	192.28	127.08	215.13	159.63	137.64	165.30	89.00
DO (cm)	1.94	2.25	2.20	1.56	2.28	2.45	2.13
LG (mm)	13.46	12.05	13.51	13.40	12.41	13.15	10.84
AG (mm)	9.90	9.14	10.46	9.11	9.27	8.95	8.88
GG (mm)	3.70	3.85	4.04	3.22	3.88	3.70	3.82
DM/LM	0.21	0.28	0.23	0.20	0.30	0.25	0.25
AG/LG	0.76	0.73	0.78	0.67	0.75	0.70	0.81
GG/LG	0.27	0.34	0.30	0.22	0.34	0.30	0.35
P100G (g)	36.29	28.65	40.60	30.05	30.34	29.60	24.02
V100G (g)	53.88	42.59	60.60	44.28	44.94	43.50	36.28

LM: longitud de mazorca; DM: diámetro de mazorca; NH: número de hileras por mazorca; NG: número de granos por hilera de mazorca; PM: peso de mazorca; DO: diámetro de olate; LG: longitud de grano; AG: ancho de grano; GG: grosor de grano; DM/LM: diámetro de mazorca/longitud de mazorca; AG/LG: ancho de grano/longitud de grano; GG/LG: grosor de grano/longitud de grano; P100G: peso de 100 granos; V100G: volumen de 100 granos.

■ **Tabla 6. Promedios de las características más representativas de las razas Tuxpeño, Vandeño, Cónico, Olotillo y Chalqueño (Wellhausen y col., 1952).**

Table 6. Averages the most representative characteristics of races Tuxpeño, Vandeño, Cónico, Olotillo y Chalqueño (Wellhausen y col., 1952).

Características	Razas				
	Tuxpeño	Vandeño	Cónico	Olotillo	Chalqueño
LM (cm)	19.7	17.2	13	19.8	16
DM (cm)	4.6	5.3	4.24	3.63	5.1
NH	12	14	16	8	16
NG	56	44	34	45	47
DO (cm)	2.65	3.23	1.9	2.1-2.4	2.8
LG (mm)	12.8	13.9	14.8	11.7	15.4
AG (mm)	9.3	9.1	7.5	10.8	7.2
GG (mm)	3.7	3.6	3.9	3.9	3.9
FM	Cilíndrica	Cilíndrica	Cónica	Cilíndrica	Cónica
DHM	Recta	Recta	Regular	Recta	Regular
TG	Semi-dentado	Dentado	Semi-dentado	Semi-harinoso	Semi-cristalino
CG	Blanco	Blanco	Blanco	Blanco	Blanco
CO	Blanco	Blanco	Blanco	Rojo-Blanco	Blanco

factores como altitud y aislamiento geográfico (Reséndiz y col., 2014). En consecuencia, las poblaciones nativas de Tamaulipas exhiben una amplia diversidad de componentes de rendimiento de grano, por lo que su variación genética puede ser aprovechada en la producción de este (Pecina y col., 2011). Además, de que el conocimiento de dicha variación permitiría implementar métodos de mejoramiento participativo (Hortelano y col., 2012; Flores-Pérez y col., 2015), en términos de uso de la variabilidad de las razas Tuxpeño, Cónico y Chalqueño (Tabla 6).

CONCLUSIONES

Se encontró una amplia variación de maíces en los municipios de Jaumave y Ocampo, tanto en las características de mazorca como de grano. Los maíces nativos mostraron una ten-

dencia hacia colores de grano blanco-cremoso y amarillo-claro, con granos semi-dentados y semi-cristalinos, así como mazorcas cilíndricas. La altitud y el aislamiento geográfico parecieron influir en la diversidad morfológica encontrada entre municipios. Las poblaciones de maíz nativo que se siembran en los municipios que comprenden la Reserva de la Biósfera “El Cielo”, representan un amplio potencial como acervo genético, que pudiera servir como base en programas de selección recurrente, para mejoramiento participativo con agricultores.

AGRADECIMIENTOS

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

REFERENCIAS

- Bedoya-Salazar, C. A., Dreisigacker, S., Hearne, S., Franco, J., Mir, C., Prasanna, B. M., and Warburton, M. L. (2017). Genetic diversity and population structure of native maize populations in Latin America and the Caribbean. *PLOS ONE*. 12(4): e0173488.
- Bird, R. M. (1978). A name change for Central American teosinte. *Taxon*. 27(4): 361-363.
- Cantú, A. M. A., Reyes, M. C. A. y Rodríguez, B., L. A. (2010). *La fecha de siembra: Una alternativa para incrementar la producción de maíz*. Folleto Técnico 44. México. CERIB-CIRNE-INIFAP. 40 Pp.
- Contreras-Toledo, A. R., Cortés-Cruz, M. A., Costich, D., Rico-Arce, M. de L., Brehm, J. M., and Maxted, N. (2018). A Crop Wild Relative Inventory for Mexico. *Crop Science*. 58(3): 1292-1305.
- Diego-Flores, P., Carrillo-Rodríguez, J. C., Chávez-Servia, J. L. y Castillo-González, F. (2012). Variabilidad en poblaciones de maíz nativo de la Mixteca Baja Oaxaqueña, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 44(1): 157-171.
- Escalante, L. N. y Trigo, Y. C. M. (2018). Campesinos maiceros en Tlaxcala: viabilidad, caracterización y respuestas ante el maíz transgénico. *Sociedad y Ambiente*. 16(6): 179-206.
- Flores-Pérez, L. P. A. López, A. Gil-Muñoz, A. Santacruz-Varela, y Chávez-Servia, J. L. (2015). Variación Intra-Racial de Maíces Nativos del Altiplano de Puebla, México. *Revista FCA UNCUYO*. 47(1): 1-17.
- González-Martínez, J., Rocandio-Rodríguez, M. Chacón-Hernández, J. C., Vanoye-Eligio, V. y Moreno-Ramírez, Y. D. R. (2018). Distribución y Diversidad de Maíces Nativos (*Zea mays* L.) en el Altiplano de Tamaulipas, México. *Agroproductividad*. 11(1): 124-130.
- 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(13): 4957-4958.
- Hortelano, S. R., Gil, A. M., Santacruz, V. A., López, S. H., López, P. A. y Miranda, C. S. (2012). Diversidad fenotípica de maíces nativos del altiplano centro-oriente del estado de Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 35(2): 97-109.
- IBPGR, International Board for Plant Genetic Resources (1991). *Descriptors for Maize*. International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico City/International Board for Plant Genetic Resources, Rome. 87 Pp.
- Kato, T. A., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. y Bye, A. (2009). *Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. 116 Pp.

- MacNeish, R. S. (1958). Preliminary archaeological investigations in the Sierra de Tamaulipas, Mexico. *Transactions of the American Philosophical Society*. 48(6): 1-210.
- Mangelsdorf, P. C., MacNeish, R. S., and Galinat, W. C. (1967). Prehistoric maize, teosinte and *Tripsacum* from Tamaulipas, Mexico. Botanical Museum Leaflets. *Harvard University*. 22(2): 33-63.
- Matsuoka, Y., Vigouroux, Y., Goodman, M. M., Sanchez, G. J., Buckler, E., and Doebley, J. (2002). A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 99(9): 6080-6084.
- Miranda, C. S. (1977). Evolución de cuatro caracteres del maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia*. (28): 73-88.
- Ortega, P. R. A., Sánchez, G. J. J., Castillo, G. F. y Hernández, C. J. M. (1991). Estado actual de los estudios sobre maíces nativos en México. En P. R. A., Ortega, H. G., Palomino, G. F., Castillo, H. A. González, y M. M. Livera, (Eds.). *Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos de México*. (pp. 161-185). México: SOMEFI.
- Pecina-Martínez, J. A., Mendoza-Castillo, M. del C., López-Santillán, J. A., Castillo-González, F. y Mendoza-Rodríguez, M. (2009). Respuesta morfológica y fenológica de maíces nativos de Tamaulipas a ambientes contrastantes de México. *Agrociencia*. 43(7): 681-694.
- Pecina, M. J. A., Mendoza C. M. C., López, S. J. A., Castillo, G. F., Mendoza, R. M. y Ortiz, C. J. (2011). Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 34(2): 85-92.
- Pérez, D. C. Q., Herrera, J. C., Escalante, L. N. y del Valle J. M. Z. (2017). Maíz: Sustento de vida en la cultura Teenek. Comunidad Tamaletom, Tancanhuitz, SLP., México. *Revista de Geografía Agrícola*. (58): 5-19.
- Rawlings, O. J. (1988). *Applied Regression Analysis: A Research Tool*. Wadsworth and Brooks/Cole. Advanced Books and Software. Pacific Grove, California. 553 Pp.
- Reséndiz, R. Z., López, S. J. A., Briones, E. F., Mendoza, C. Ma. del C. y Varela, F. S. E. (2014). Situación Actual de los Sistemas de Producción de Grano de Maíz en Tamaulipas, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 82(62): 70-78.
- Rocandio-Rodríguez, M., Santacruz-Varela, A., Córdova-Tellez, L., López-Sánchez, H., Castillo-González, F., Lobato-Ortiz, R. y Ortega-Paczka, R. (2014). Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de Los Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 37(4): 351-361.
- SAS, Statistical Analysis System (2002). Institute. SAS Proceeding Guide. Version 9.0. SAS Institute. Cary, NC. USA.
- Sánchez, G. J. J., Goodman, M. M., and Stuber, C. W. (2000). Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of México. *Economic Botanic*. 54: 43-59.
- Sierra-Macías, M., Andrés-Meza, P., Palafox-Caballero, A. y Meneses-Márquez, I. (2016). Diversidad genética, clasificación y distribución racial del maíz nativo en el estado de Puebla, México. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*. 3(9):12-21.
- Smith, B. D. (1997). The initial Domestication of Cucurbita pepo in the Americas 10 000 years ago. *Science*. 276: 932-934.
- Taba, S. (1999). *Passport data to record when collecting seed of farmer varieties. Latin American Maize Germplasm Conservation: Core Subset Development and Regeneration. Proceedings of a Workshop held at CIMMYT*. Mexico, D.F.: CIMMYT. 62 Pp.
- Wellhausen, E. J., Roberts, L. M., Hernández, X. E., and Mangelsdorf, P. C. (1952). *Races of Maize in Mexico, Their Origin, Characteristics and Distribution. The Bussey Institution*. Harvard University. Cambridge, M. A. 209 Pp.