

# CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA Y AGRONÓMICA DE MAÍCES (*Zea mays ssp. mays* L.)

## NATIVOS DE SINALOA, MÉXICO

Orlando O. Linares-Holguín, Mario Rocandio-Rodríguez, Amalio Santacruz-Varela, José Á. López-Valenzuela, Leovigildo Córdova-Téllez, Saúl Parra-Terraza, Alfredo Leal-Sandoval, Ignacio E. Maldonado-Mendoza y Pedro Sánchez-Peña

### RESUMEN

La variación genética de maíz (*Zea mays ssp. mays* L.) en México ha sido estudiada especialmente en el centro-sur del país. El estado de Sinaloa (primero en producción) posee 23% de la variación genética racial nacional, pero su evaluación es escasa. Recolectamos 144 muestras de maíz (Tuxpeño Norteño, Vandeño, Onaveño, Elotero de Sinaloa, Tabloncillo, Tabloncillo Perla, Bofo, Jala, Blando de Sonora, Chapalote, Dulcillo del Noroeste y Reventador) en distintos puntos del estado con el objetivo de describir las características morfológicas y agronómicas relevantes para determinar un patrón de agrupación. Las accesiones fueron evaluadas en dos ambientes con un diseño de látice simple 12×12, analizando 27 variables. El ANDEVA detectó diferencias significativas entre accesiones (todas las variables), interacción genotipo × am-

biente (anchura/longitud del grano) y ambientes en la espiga (longitud del tramo ramificado, número de ramificaciones primarias y longitud de la rama central), mazorca (diámetro/longitud, longitud del pedúnculo y de mazorca) y grano (volumen y peso/volumen). Los tres primeros componentes principales (CP) explicaron 64% de la varianza, donde las variables: número de hojas, diámetro y longitud de la mazorca; la anchura y espesor de grano; anchura/longitud del grano y floración; son las más importantes. La representación gráfica de los CP1 y CP2 reveló seis grupos y la de conglomerados cinco. Algunas accesiones poseían características compartidas con más de un grupo racial y su posición fue cercana a la de quienes compartían características. Se confirma una amplia diversidad genética de maíces nativos en Sinaloa.

### Introducción

El maíz (*Zea mays ssp. mays* L.) es uno de los cultivos más importantes en México, centro de origen de esta especie. Es el cultivo con el mayor volumen de producción (23,2×10<sup>6</sup>Mg), superficie cultivada (7,4×10<sup>6</sup>ha) y demanda nacional anual (30×10<sup>6</sup>Mg), por sus más de 600 formas diferentes de cocinar y por su contribución

nutricional promedio a la dieta del mexicano, a la que aporta 59% de energía y 39% de proteína diaria (Sánchez *et al.*, 2000; Muñoz, 2003; Sánchez, 2011; SIAP, 2014).

Desde su domesticación, hace 9 a 10 mil años (Matsuoka *et al.*, 2002; Doebley, 2004), y hasta hoy, el maíz ha sido mejorado genéticamente para satisfacer las necesidades humanas. Como consecuencia, la diversidad del

maíz en México es tan amplia que se pueden encontrar diferentes variedades adaptadas a regiones, parcelas y nichos específicos en casi todas las condiciones ambientales (Gil y Muñoz, 1994; Santacruz-Varela *et al.*, 2004; Ruiz *et al.*, 2008; Kato *et al.*, 2009; Ruiz *et al.*, 2013; Perales y Golicher, 2014). Esta enorme diversidad ha sido motivo de varios estudios en el país, la mayoría enfocados en

conocer las poblaciones y las razas existentes con distintos objetivos: para la utilización en el mejoramiento de líneas comerciales, para comprender los procesos evolutivos que le dieron origen, para explicar su distribución en los diferentes ambientes y para registrar su biodiversidad. La riqueza genética del maíz, al igual que otras especies de explotación agrícola, representa una oportunidad

### PALABRAS CLAVE / Caracterización / Diversidad Genética / Germoplasma / *Zea mays* L. /

Recibido: 31/10/2018. Modificado 22/07/2019. Aceptado: 25/07/2019.

#### Orlando Omer Linares-Holguín.

Biólogo, Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), México. Profesor Investigador, UAS, México.

#### Mario Rocandio-Rodríguez.

Ingeniero Agrónomo en Producción. Universidad Autónoma del Estado de México. Maestro y Doctor en Recursos Genéticos y Productividad Genética, Colegio de Posgraduados (COLPOS), México. Profesor, Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.

#### Amalio Santacruz-Varela.

Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, Universidad de Chapingo, México. Maestro en Ciencias

en Genética, COLPOS, México. Ph.D. en Genética, Iowa State University, EEUU. Profesor Investigador, COLPOS, México.

#### José Ángel López-Valenzuela.

Ingeniero Bioquímico, UAS, México. Ph.D. en Botánica, Arizona University, EEUU. Profesor Investigador, COLPOS, México.

#### Leovigildo Córdova-Téllez.

Ingeniero Agrónomo, Universidad Autónoma de Chapingo, México. M.Sc. en Ciencias en Tecnología de Semillas, Mississippi State University, EEUU. Ph.D. en Producción de Cultivos, Iowa State University, EEUU. Profesor Investigador, COLPOS, México.

#### Saúl Parra-Terraza.

Ingeniero Agrónomo, UAS, México. Maestría y Doctorado en Ciencias de la Nutrición Vegetal, COLPOS, México. Profesor Investigador, UAS, México.

#### Alfredo Leal-Sandoval.

Licenciado en Biología, Maestro en Ciencias Biológicas Marinas y estudiante de doctorado en Ciencias Agropecuarias, UAS, México.

#### Ignacio Eduardo Maldonado-Mendoza.

Químico Biólogo Bromatólogo, Universidad Autónoma de Yucatán, México. Maestro en Ciencias en Biotecnología Vegetal, Instituto Tecnológico Regional de Mérida, México. Doctor en Ciencias en

Biotecnología Molecular de Plantas, Texas A&M University, Texas, EEUU. Profesor Investigador, Instituto Politécnico Nacional, México.

#### Pedro Sánchez-Peña.

(Autor de correspondencia) Ingeniero Agrónomo, UAS, Sinaloa, México. Maestro en Ciencias, COLPOS, México. M. Sc. en Ciencias Agrícolas, New Mexico State University, EEUU. Doctor en Ciencias Biológicas, UNAM, México. Profesor Investigador, UAS. Dirección: Facultad de Agronomía, UAS. Culiacán de Rosales, Km.17.5, Carretera Culiacán-Eldorado, C.P. 80000. Sinaloa. México. e-mail: spenap@hotmail.com.

## PHENOTYPIC AND AGRONOMIC CHARACTERIZATION OF MAIZE LANDRACES (*Zea mays ssp. mays* L.) FROM SINALOA, MÉXICO

Orlando O. Linares-Holguín, Mario Rocandio-Rodríguez, Amalio Santacruz-Varela, José Á. López-Valenzuela, Leovigildo Córdova-Téllez, Saúl Parra-Terraza, Alfredo Leal-Sandoval, Ignacio E. Maldonado-Mendoza and Pedro Sánchez-Peña

### SUMMARY

The genetic variation of maize (*Zea mays ssp. mays* L.) in Mexico has been studied especially in the south-central part of the country. The state of Sinaloa (first in production) has 23% of the national racial genetic variation, but its evaluation is scarce. We collected 144 samples of corn (Tuxpeño Norteño, Vandeño, Onaveño, Elotero de Sinaloa, Tabloncillo, Tablaoncillo Perla, Bofo, Jala, Blando de Sonora, Chapalote, Dulcillo del Noroeste and Reventador) in different state locations in order to describe relevant morphological and agronomic characteristics so as to determine a grouping pattern. The accessions were evaluated in two environments with a simple lattice design of 12×12, analyzing 27 variables. ANDEVA detected significant differences between accessions (for all variables), for the genotype × environ-

ment interaction (width/length of the grain) and for environments in spikes (length of branched section, number of primary branches and length of central branch), in cob (diameter/length, length of the peduncle and of the cob) and in grain (volume and weight/volume). The first three main components (PCA) explained 64% of the variance, where the variables number of leaves, diameter and length of the cob; the width and thickness of the grain; grain width and length and flowering; are the most important. The graphic representation of the PCA (1 and 2) revealed six groups, and that of conglomerates five. Some accessions shared characteristics with more than one racial group and their position was close to that of those sharing characteristics. A wide genetic diversity of native corn is confirmed in Sinaloa.

## CARACTERIZAÇÃO FENOTÍPICA E AGRONÔMICA DE MILHOS (*Zea mays* SSP. *mays* L.) NATIVOS DE SINALOA, MÉXICO

Orlando O. Linares-Holguín, Mario Rocandio-Rodríguez, Amalio Santacruz-Varela, José Á. López-Valenzuela, Leovigildo Córdova-Téllez, Saúl Parra-Terraza, Alfredo Leal-Sandoval, Ignacio E. Maldonado-Mendoza e Pedro Sánchez-Peña

### RESUMO

A variação genética de milho (*Zea mays ssp. mays* L.) no México tem sido estudada especialmente no centro-sul do país. O estado de Sinaloa (primeiro em produção) possui 23% da variação genética racial nacional, mas a sua avaliação é escassa. Coletamos 144 amostras de milho (Tuxpeño do Norte, Vandeño, Onaveño, Elotero de Sinaloa, Tabloncillo, Tabloncillo Perla, Bofo, Jala, Blando de Sonora, Chapalote, Dulcillo do Noroeste e Reventador) em distintos pontos do estado com o objetivo de descrever as características morfológicas e agrônômicas relevantes para determinar um padrão de agrupação. As acessões foram avaliadas em dois ambientes com um desenho de látice simples 12×12, analisando 27 variáveis. O ANDEVA detectou diferenças significativas entre acessões (todas as variáveis), interação genótipo × ambiente (largura/comprimento do grão)

e ambientes na espiga (comprimento do trecho ramificado, número de ramificações primárias e comprimento do galho central), espiga de milho (diâmetro/comprimento, comprimento do pedúnculo e de espiga de milho) e grão (volume e peso/volume). Os três primeiros componentes principais (CP) explicaram 64% da variância, onde as variáveis: número de folhas, diâmetro e comprimento da espiga de milho; a largura e espessura de grão; largura/comprimento do grão e floração; são as mais importantes. A representação gráfica dos CP1 e CP2 revelou seis grupos e a de conglomerados cinco. Algumas acessões possuem características compartilhadas com mais de um grupo racial e sua posição foi próxima daqueles que compartilhavam características. Confirma-se uma ampla diversidade genética de milhos nativos em Sinaloa.

para mejorar las características agroalimentarias de las variedades cultivadas y resolver problemas propios del cultivo, tales como resistencia a enfermedades, a estrés hídrico y otros factores climatológicos (Cervantes *et al.*, 1978; Ruiz *et al.*, 2008, 2011; Hellin *et al.*, 2014). El conocimiento de esta diversidad en el maíz, así como la relación de este cultivo desde un punto de vista antropocéntrico, determina qué estrategias de conservación y aprovechamiento seguir (Ortega, 1985; Ortega *et al.*, 1991; Castillo,

1993; Pressoir y Berthaud, 2004). La información de la variación fenotípica y agronómica de la diversidad dentro y entre razas nativas (parte de la diversidad genética del maíz) es una fuente potencial de características que se pueden utilizar sistemáticamente en el mejoramiento genético regional.

El estudio pionero de la descripción de la diversidad del maíz en México fue realizado por Chávez (1913) quien describió 57 variedades. Sin embargo, la descripción de la variación de poblaciones de maíces

en razas, surge con los estudios de Anderson y Cutler (1942), quienes además de concebir a una raza como un conjunto de individuos que comparten características en común que permiten su reconocimiento como grupo y que ocupan un ambiente específico, también señalaron que los caracteres reproductivos son los de mayor importancia para la clasificación racial. A partir de esto, uno de los registros más importantes de la diversidad de maíz en México fue desarrollado por Wellhausen *et al.*

(1951), quienes describieron 25 razas diferentes, tres 'subrazas' y siete tipos no definidos, basándose en características fisiológicas y morfológicas. Este reporte fue complementado por los estudios de Hernández y Alanís (1970) así como los de Ortega (1985). Con el desarrollo de la computación y métodos estadísticos avanzados, se incorporaron otras variables a los análisis numéricos taxonómicos como la interacción genotipo-ambiente y más recientemente estimaciones de la diversidad genética utilizando

marcadores moleculares como aloenzimas, microsátélites o polimorfismos de un nucleótido (SNPs por sus siglas en inglés) (Castillo, 1993; Pejic *et al.*, 1998; Sánchez *et al.*, 2000; Pressoir y Berthaud, 2004; Santacruz-Varela *et al.*, 2004; González *et al.*, 2013; Rocandio-Rodríguez *et al.*, 2014; Arteaga *et al.*, 2016; Caldu-Primo *et al.*, 2016; Herrera-Saucedo *et al.*, 2019). Con estos estudios se puede afirmar que México contiene alrededor del 17% de la diversidad de maíz descrita para América: 59 de las 300 razas existentes (Sánchez *et al.*, 2000 y Aragón-Cuevas *et al.*, 2002).

A pesar de los antecedentes mencionados, el registro de la diversidad de maíz en México no ha sido generalizado en todo el territorio nacional. La mayoría de los estudios centran su atención en las zonas centro y sur de la nación. En regiones norteñas como Chihuahua, Sonora y Sinaloa existen pocos estudios en comparación con el resto del país. El primer registro para Sinaloa lo realizó Wellhausen en 1951 con solo tres razas; desde entonces y hasta el año 2006 con las investigaciones de Ortega y colaboradores, esto cambió a un total de 10 razas (Wellhausen *et al.*, 1951; Ortega, 1985, 2003; Sánchez y Goodman, 1992; Turrent y Serratos, 2004).

En Sinaloa, la investigación en maíz por parte de organismos estatales se inició en 1962 con el objetivo de determinar las fechas de siembra para el cultivo de maíz en el Valle de Culiacán. En 20 años de investigación, el Centro de Investigaciones Agrícolas del Pacífico Norte (CIAPAN) del INIA se enfocó a obtener variedades e híbridos de maíz, y derivaron las variedades V-420 (Perla Mejorada), VS-450 (Costeño Culiacán), VS-453 (Costeño Culiacán Mejorada) y los híbridos H-451 y H-452 (INIA, 1981). Sin embargo, no se estudió la diversidad de sus maíces nativos. En décadas recientes, Sinaloa se posicionó como el principal productor nacional de maíz y ante la posibilidad de la siembra

comercial de maíz transgénico en México, se han iniciado estudios para caracterizar los maíces nativos. Se ha logrado identificar en el estado la presencia de varias razas de maíz (nueve) en las zonas de temporal (Palacios *et al.* 2008) y una gran diversidad en sus poblaciones (Pineda-Hidalgo *et al.*, 2013). La información hasta el año 2008 indicaba que Sinaloa contiene el 23% de las razas de maíz de México. Sin embargo, hasta el momento las zonas exploradas cubren regiones accesibles del territorio sinaloense, pero no aquellas zonas que se encuentran adentradas en la sierra y que suelen ser de difícil acceso o de riesgo para la seguridad de los investigadores. Esto ha contribuido a un desconocimiento de la diversidad de maíz en Sinaloa, al igual que en otras regiones (Wellhausen, 1951; Perales y Golicher, 2014).

El objetivo del presente estudio fue evaluar caracteres morfológicos y agronómicos de las razas nativas de maíz de Sinaloa, identificando las variables que permitan describir mejor la diversidad, determinar su valor agronómico y conocer su estado actual en una de las zonas productoras de maíz más importantes de México.

## Materiales y Métodos

### Material genético

Se obtuvieron 144 accesiones de maíz representativas de diferentes zonas del territorio sinaloense, incluyendo zonas cercanas al estado de Durango (Figura 1). Las accesiones fueron recolectadas en parcelas y trojes, identificadas de manera visual, georreferenciadas, almacenadas en costales para su traslado, identificadas de forma racial con base a características de mazorca (Rafael Ortega Paczka, comunicación personal) y resguardadas en las instalaciones del banco de germoplasma de maíz de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa con los identificadores de la colección MCS14 (números de control 01-150).

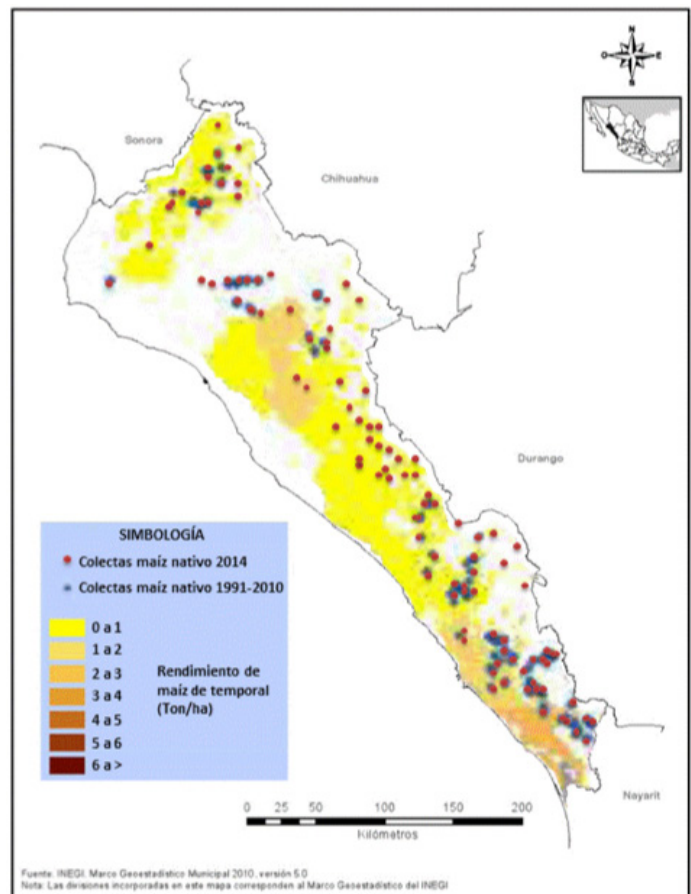


Figura 1. Mapa del estado de Sinaloa. Colectas de maíz en Sinaloa; y rendimiento de maíz de temporal obtenido de Bellon *et al.* (2018).

## Experimentos

Los experimentos fueron establecidos en los campos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa ubicados en 24°37'29"N y 107°26'36"O, a 38msnm. El suelo es tipo vertisol crómico. La humedad aprovechable es del 25% con base en el peso de suelo seco. El contenido de materia orgánica es menor al 1%; con menos de 0,002% de nitrógeno, y con 17,5 y 300mg·kg<sup>-1</sup> de P y K. El pH con valores entre 7,5 y 8, y la conductividad eléctrica menor de 1dS·m<sup>-1</sup>. El clima [BSI (h') w (w) (e)] en este sitio es de tipo semi seco, muy cálido, extremoso, con lluvias en verano, temperatura media anual de 25,9°C y precipitación media anual de 672mm (García, 2004).

Las siembras se realizaron de forma manual en los dos ambientes (ciclo de siembra de

invierno) de los años 2013-2014 y 2014-2015. Los experimentos se desarrollaron bajo condiciones de riego con un diseño experimental de látice simple de 12×12. En cada parcela se sembraron 26 plantas (parcelas de dos surcos con una longitud de 5m con cinco plantas/m lineal y una distancia entre surcos de 80cm). Se aplicaron tres riegos de auxilio y se realizó una fertilización con la mitad de la dosis recomendada para cultivos híbridos (135N-50P-00K) en la etapa fenológica V-6. La toma de datos se realizó desde el establecimiento de los cultivos hasta las cosechas manuales de mayo a junio en cada ciclo de siembra.

### Variables evaluadas

En cada parcela experimental se seleccionaron 13 plantas con competencia completa en las cuales se determinaron las

variables descritas a continuación y de acuerdo con el manual del IBPGR (IBPGR, 1991). La floración masculina y femenina fueron determinadas desde el día de siembra hasta el momento en el que el 50% de las plantas liberaran polen y mostraran estigmas expuestos, respectivamente.

Durante el ciclo biológico fueron registradas las siguientes variables: altura de la planta y de la mazorca, medida en cm desde el suelo hasta la punta de la espiga, y al nudo de inserción de la mazorca superior, respectivamente; número total de hojas por planta y número de hojas arriba de la mazorca, contadas al momento de la antesis.

Después de la antesis se evaluaron: longitud del pedúnculo de la espiga, desde el nudo superior hasta la primera ramificación; longitud del tramo ramificado de la espiga, desde la primera hasta la última ramificación; longitud de la rama central de la espiga, desde la última ramificación hasta la punta de la espiga; longitud total de la espiga, desde el nudo superior hasta la punta de la espiga; todos los anteriores medidos en cm. También se cuantificó el número de ramificaciones primarias de la espiga.

En la cosecha se recolectaron mazorcas de las 13 plantas evaluadas. En ellas se midió longitud del pedúnculo (cm), longitud y diámetro medio de la mazorca (cm), peso total de la mazorca (g) y número de hileras de granos por mazorca.

Se midió el diámetro (cm) de las mazorcas y éstas fueron desgranadas. De cada una de las mazorcas se tomaron 10 granos de la parte central de la mazorca para medir el promedio de la longitud, anchura y espesor (mm) del grano. Se formó una muestra de 100 granos de todas las mazorcas de cada unidad experimental y se obtuvo su peso (g) y su volumen (cm<sup>3</sup>). Se generaron variables compuestas a partir del cociente de dos variables como la del peso/volumen de 100 granos, altura de la mazorca/

altura de la planta diámetro/ longitud de la mazorca, espesor/longitud de 10 granos, anchura/longitud de 10 granos y porcentaje del peso de granos de la mazorca.

#### *Análisis estadístico*

Los resultados fueron analizados mediante un análisis de varianza combinado como bloques completos al azar, debido a que los promedios de cada unidad experimental de los dos ambientes para cada una de las variables, no mostraron eficiencia con respecto al diseño experimental en látice propuesto inicialmente. Se determinó la interacción genotipo × ambiente y los componentes de varianza, utilizando SAS V.9.0 (SAS, 2002). Las variables se seleccionaron desde la matriz de correlaciones y de la dispersión de los valores y vectores en una gráfica de Gabriel, con el objetivo de observar la estructura de correlaciones entre las variables y su efecto sobre la varianza global (Pla, 1986; Rawlings, 1998).

La matriz de correlaciones entre las variables seleccionadas se usó para realizar un análisis de componentes principales con el método no paramétrico de agrupación de MODECLUS, a fin de estimar el número adecuado de agrupaciones en las que la cantidad de elementos de cada grupo se basa en un valor de partida (*kernel*). Este valor corresponde a un radio (R) de una esfera multidimensional expresado en términos de distancias euclidianas, sobre la que se explora el número de elementos que caen dentro de la esfera con un alcance determinado por R (SAS, 2002).

Se realizó un análisis de conglomerados con datos estandarizados a la distribución normal (0, 1), usando distancias euclidianas y el método UPGMA. La altura de corte para definir el número de grupos se determinó con un análisis de pseudo t<sup>2</sup>, usando SAS V.9.0. (SAS, 2002). Se realizó un análisis de varianza (univariado) para cada variable y se compararon las diferencias de

medias con la prueba de Gabriel ( $p \leq 0,01$ ) de los grupos formados por el análisis de conglomerados utilizando SPSS V. 24.0 de IBM.

## **Resultados y Discusión**

### *Material genético*

Las accesiones se pudieron clasificar en dos grandes grupos; aquellas cuyas características raciales eran conservadas y las que mostraban la influencia de dos o más razas. Los grupos raciales que se identificaron fueron: 1) Chapalote, 2) Reventador, 3) Tabloncillo, 4) Tabloncillo Perla, 5) Dulcillo del Noroeste, 6) Elotero de Sinaloa, 7) Bofo, 8) Tuxpeño Norteño, 9) Vandeño, 10) Onaveño, 11) Jala, 12) Blando de Sonora y 13) accesiones que contenían características de dos o más grupos raciales (Tabloncillo-Tuxpeño Norteño, Tabloncillo Perla-Jala, Tabloncillo Perla-Tuxpeño Norteño, Onaveño-Tuxpeño Norteño, Tuxpeño Norteño-Tabloncillo, Tuxpeño Norteño-Ratón, Bofo-Tabloncillo Perla). Este último grupo y sus características puede ser consecuencia del flujo genético que se presenta entre poblaciones que son sembradas juntas en las zonas de temporal de Sinaloa, de tal manera que, al seleccionar el material para la siembra de ciclos venideros, muchos materiales mantienen características de diferentes grupos raciales.

En esta investigación encontramos la raza Ratón en hibridación con la raza Tuxpeño Norteño. Sin embargo, en años posteriores al estudio, se lograron identificar y recolectar accesiones pertenecientes a la raza Ratón, las cuales se encuentran resguardadas en el Laboratorio de Genética de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Si bien la raza Ratón no había sido reportada con anterioridad en Sinaloa, ya se había registrado que existían las condiciones agroclimáticas que favorecían su presencia (Ortega, 1985; Ruiz *et al.*, 2013). Dentro de las accesiones

se identificaron seis pertenecientes a dos materiales híbridos comerciales (tres blancos y tres amarillos) sin poder identificar la compañía o marca de los mismos.

### *Análisis de varianza*

Detectamos un alto grado de variación entre los genotipos ( $p \leq 0,01$ ) para todas las variables evaluadas, por lo que se infiere una gran diversidad fenotípica y agronómica entre las accesiones. Los resultados entre los ambientes fueron muy similares y solo se detectaron diferencias significativas en ocho de las 27 variables, por lo que se deduce que el efecto del ambiente sobre las variables observadas fue mínimo (Tabla I). En este aspecto, cinco de esas ocho variables se dieron en medidas de la espiga y de la mazorca, lo que probablemente se vio influenciado por un evento atípico tipo 'tornado' en el primer ciclo de siembra que ocasionó la pérdida de mazorcas, la caída y atrofia de espigas y el acame de cerca del 70% de las plantas (la mayoría en la fase final de crecimiento) como lo reflejan los coeficientes de variación para esas variables con valores 'altos y muy altos' según la escala descrita por Gordón-Mendoza *et al.* (2015). Solo para una variable (anchura/longitud de 10 granos) fue significativa la interacción genotipo × ambiente ( $p \leq 0,05$ ). La varianza observada de forma global es consecuencia de las diferencias genéticas de los materiales recolectados y no del efecto del ambiente o de la interacción de los genotipos con los ambientes.

Nuestros resultados contrastan con los de Gordón-Mendoza *et al.* (2010), quienes encontraron diferencias significativas en la interacción genotipo ambiente para todas las variables (excepto altura de planta, número de planta, aspecto de la mazorca y posición de las mazorcas) o con los de Cervantes *et al.* (2016), que encontraron efecto del genotipo y de la interacción genotipo × ambiente para todas sus variables.

TABLA I  
CUADRADOS MEDIOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA

Variable	Ambientes (Amb)	Genotipos (Gen)	Gen×Amb	Error	R <sup>2</sup>	CV	Grupos (Medias) **				
							I	II	III	IV	V
Altura de la mazorca (cm)	89,45 ns	1645,6 **	399,67 ns	379,31	0,785	29	94,6 a	113,4 b	113,7 b	134,8 c	139,2 c
Altura total (cm)	212,05 ns	1629,54 **	543,22 ns	476,9	0,711	18	179,6 a	208,5 b	211,6 b	228,0 c	232,8 c
Número de hojas arriba de la mazorca	0,2 ns	0,47 **	0,25 ns	0,24	0,634	18	5,6 a	5,6 a	5,8 a	6,0 b	6,1 b
Número de hojas por planta	0,86 ns	4,98 **	1,11 ns	1,35	0,743	17	12,4 ab	12,2 a	12,6 b	14,0 c	14,0 c
Longitud del pedúnculo de la espiga (cm)	0,31 ns	21,58 **	8,62 ns	7,65	0,683	31	19,4 a	23,0 c	23,1 c	21,5 b	20,7 ab
Longitud del tramo ramificado de la espiga (cm)	34,99 **	7,97 **	2,78 ns	3,05	0,654	31	12,1 ab	11,5 a	12,1 b	13,5 c	13,9 c
Longitud de la rama central de la espiga (cm)	93,73 **	15,89 **	9,53 ns	10,48	0,671	31	20,4 a	24,4 b	24,2 b	25,3 b	24,0 b
Longitud total de la espiga (cm)	27,6 ns	38,92 **	22,72 ns	21,85	0,693	19	52,1 a	58,4 b	59,7 b	60,3 b	58,4 b
Número de ramificaciones primarias de la espiga	27,44 *	27,47 **	7,15 ns	6,92	0,772	39	19,0 a	13,6 b	14,7 bc	15,6 c	17,6 d
Longitud del pedúnculo de la mazorca (cm)	28,11 **	6,03 **	2,61 ns	2,89	0,629	47	8,0 a	8,2 ab	8,7 abc	8,9 bc	9,0 c
Número de hileras de la mazorca	0,03 ns	9,65 **	1,09 ns	1,24	0,813	22	13,5 e	10,9 c	10,9 a	9,8 b	11,9 d
Longitud de la mazorca (cm)	67,03 **	13,86 **	3,25 ns	3,45	0,73	23	15,17 a	17,98 b	18,81 c	19,13 c	17,69 b
Porcentaje del peso de granos de la mazorca	0,004 ns	66,12 **	13,02 ns	18,86	0,703	12	82,60 c	80,46 b	80,98 bc	77,55 a	79,57 b
Diámetro de la mazorca (mm)	0,04 ns	0,82 **	0,06 ns	0,06	0,882	16	4,22 c	3,48 a	3,90 b	4,12 c	4,50 d
Espesor de 10 granos (mm)	0,64 ns	77,85 **	14,81 ns	17,08	0,731	19	38,32 a	41,39 b	45,26 c	47,33 d	43,66 c
Anchura de 10 granos (mm)	7,14 ns	350,23 **	17,44 ns	18,04	0,914	14	82,70 a	86,68 b	100,29 c	102,67 cd	104,69 d
Longitud de 10 granos (mm)	29,78 ns	274,75 **	38,83 ns	31,1	0,837	14	109,48 c	97,06 a	103,91 b	106,76 c	113,26 d
Diámetro del olote (mm)	0,17 ns	0,54 **	0,07 ns	0,07	0,819	23	25,53 c	21,03 a	23,71 b	25,72 c	27,94 d
Volumen de 100 granos (cm <sup>3</sup> )	193 *	401,04 **	57,05 ns	45,46	0,845	22	40,40 a	40,78 a	54,83 b	60,29 b	57,40 b
Peso de 100 granos (gr)	1,23 ns	168,5 **	46,03 ns	37,11	0,754	24	27,40 a	27,19 a	36,34 b	38,80 b	37,34 b
Floración masculina (días)	1,83 ns	110,15 **	9,46 ns	10,62	0,85	7	79,25 a	83,74 bc	81,93 ab	88,63 d	87,04 cd
Floración femenina (días)	0,008 ns	103,36 **	9,27 ns	9,69	0,856	6	83,00 a	89,76 bc	87,09 b	94,09 d	91,31 cd
Peso/volumen de 100 granos	0,047 *	0,014 *	0,011 ns	0,01	0,553	16	0,68 ns	0,67 ns	0,67 ns	0,65 ns	0,65 ns
Altura de la mazorca/altura de la planta	0,00002 ns	0,01 **	0,002 ns	0,002	0,807	20	0,52 a	0,54 a	0,53 a	0,59 b	0,59 b
Diámetro/longitud de la mazorca	0,009 **	0,006 **	0,001 ns	0,001	0,817	28	0,29 d	0,21 a	0,22 ab	0,23 b	0,27 c
Espesor/longitud de 10 granos	0,0002 ns	0,014 **	0,002 ns	0,002	0,779	26	0,35 a	0,44 c	0,45 c	0,45 c	0,39 b
Anchura/longitud de 10 granos	0,001 ns	0,037 **	0,003 *	0,002	0,899	16	0,76 a	0,90 b	1,00 c	0,99 c	0,90 b

ns: no significativa; \* p<0,05; \*\* p<0,01.

### Análisis de componentes principales

Los tres primeros componentes principales explicaron un 64% de la varianza (31,22 y 11% respectivamente), siendo posible identificar las variables que aportan mayor variación a cada componente (Tabla II). De acuerdo con lo anterior, para el CP1 son el número de hojas por planta y el diámetro de la mazorca. En el CP2 las variables que más contribuyen son longitud de la mazorca, espesor de 10 granos, anchura de 10 granos y la relación anchura/longitud de 10 granos. En el CP3 son la floración masculina y femenina. Algunas de estas variables han sido seleccionadas en otros estudios para la descripción de la diversidad genética, sobre todo aquellas relacionadas con caracteres de la mazorca y características de grano (Herrera *et al.*, 2000; Sánchez *et al.*, 2000 y Rocandio-Rodríguez *et al.*, 2014).

En las accesiones que contienen dos o más componentes raciales se puede observar que existen características que

pertenecen a una u otra raza y que dominan en mayor grado el fenotipo de los materiales. Estas influyen en la distribución que ocupan en el plano, posicionándolas en lugares cercanos a aquellas con quienes comparten más similitud: las accesiones híbridas de Onaveño-Tuxpeño Norteño en el grupo III cuadrante I (donde existen más accesiones de Onaveño que de Tuxpeño Norteño) son un ejemplo.

### Agrupamiento de accesiones

El método UPGMA permitió reconocer cinco grupos (Figura 2). Detectamos diferencias significativas entre las medias de los grupos formados para todas las variables excepto para peso/volumen de 100 granos.

En el grupo I se distinguen dos materiales, ambos híbridos comerciales (blanco y amarillo). Estas plantas se caracterizan por tener una altura promedio cercana a los 180cm con 12 hojas por planta, cuentan con las espigas más pequeñas de todos los grupos pero con la mayor cantidad de espigas (19),

el mayor número de hileras de la mazorca (14) y el mayor porcentaje del peso de granos de la mazorca. Cuentan también con el periodo de floración

masculina y femenina más corto (79 y 83 días respectivamente), el mayor valor entre la relación peso/volumen de 100 granos y de diámetro/longitud de

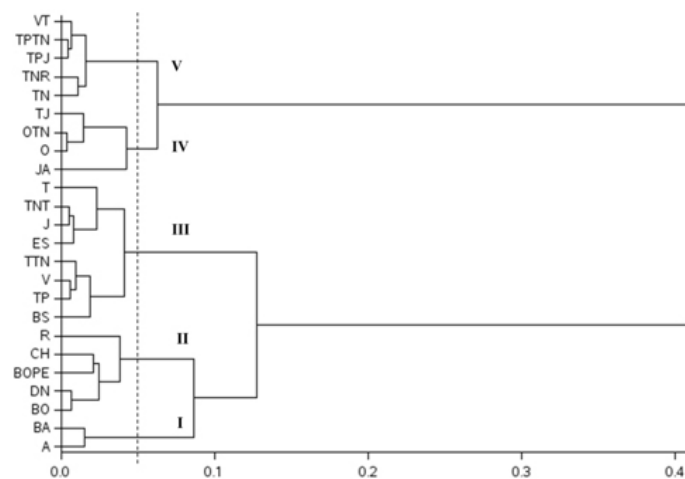


Figura 2. Dendrograma de las razas colectadas, construido mediante UPGMA con distancias euclidianas derivadas de 27 variables morfológicas. A: Amarillo, BA: Blanco, BO: Bofa, BS: Blando de Sonora, CH: Chapalote, DN: Dulcillo del noroeste, ES: Elotero de Sinaloa, JA y J: Jala, O: Onaveño, R: Reventador, T: Tabloncillo, TN: Tuxpeño Norteño, TP: Tabloncillo-Perla, y V: Vandeño. Accesiones con dos o más componentes raciales: BOPE: Bofa-Reventador; OTN: Onaveño-Tuxpeño Norteño; TJ: Tabloncillo-Jala; TPJ: Tabloncillo Perla-Jala; TTN: Tabloncillo-Tuxpeño Norteño; TPTN: Tabloncillo Perla-Tuxpeño Norteño; TNR: Tuxpeño Norteño-Ratón; TNT: Tuxpeño Norteño-Tabloncillo, y VT: Vandeño-Tabloncillo. Los números indican las variables involucradas (Ver Tabla II).

TABLA II  
VECTORES, VALORES PROPIOS Y PROPORCIÓN DE LA VARIANZA EXPLICADA POR  
LOS COMPONENTES PRINCIPALES

#	Variable	CP1	CP2	CP3
1	Altura de la mazorca	0,172	0,049	-0,177
2	Altura total	0,247	0,115	-0,171
3	Número de hojas arriba de la mazorca	0,214	-0,023	0,049
4	Número de hojas por planta	0,306	-0,011	-0,114
5	Longitud del pedúnculo de la espiga	-0,221	0,142	-0,004
6	Longitud del tramo ramificado de la espiga	0,248	0,049	0,133
7	Longitud de la rama central de la espiga	0,069	0,230	-0,253
8	Longitud total de la espiga	-0,008	0,273	-0,107
9	Número de ramificaciones primarias de la espiga	0,227	-0,158	0,164
10	Longitud del pedúnculo de la mazorca	0,117	0,105	0,060
11	Número de hileras de la mazorca	0,168	-0,292	-0,100
12	Longitud de la mazorca (cm)	0,017	0,307	-0,032
13	Porcentaje del peso de granos de la mazorca	-0,123	-0,152	0,210
14	Diámetro de la mazorca	0,301	-0,068	0,183
15	Espesor de 10 granos	0,070	0,312	0,061
16	Anchura de 10 granos	0,124	0,301	0,291
17	Longitud de 10 granos	0,266	-0,088	0,192
18	Diámetro del olote	0,278	0,004	0,150
19	Volumen de 100 granos	0,215	0,235	0,241
20	Peso de 100 granos	0,187	0,248	0,269
21	Floración masculina	0,218	0,060	-0,388
22	Floración femenina	0,187	0,096	-0,426
23	Peso/volumen de 100 granos	-0,089	0,026	0,059
24	Altura de la mazorca/altura de la planta	0,249	-0,029	-0,242
25	Diámetro/longitud de la mazorca	0,185	-0,261	0,131
26	Espesor/longitud de 10 granos	-0,108	0,274	-0,061
27	Anchura/longitud de 10 granos	-0,089	0,347	0,136
	Valor propio	8,5	5,8	2,9
	Varianza acumulada	0,31	0,53	0,64

El método de agrupación MODECLUS permitió detectar la presencia de seis grupos ( $R = 1$ ) para los CP1 y CP2, formados principalmente por las accesiones pertenecientes a diferentes razas: I) Tuxpeño Norteño, II) Tabloncillo, III) Onaveño y Vandeño, IV) Zona compuesta por accesiones con características de Tabloncillo y Tuxpeño Norteño, V) Elotero de Sinaloa y VI) Jala y Tabloncillo-Jala (Figura 3). También, cabe destacar la cercanía de las razas Chapalote, Reventador, Dulcillo del Noroeste, Blando de Sonora y Bofo en el cuadrante III; y en el cuadrante II la accesión Tuxpeño Norteño-Ratón. Estas distribuciones y otras como la de Tabloncillo en el IV y Bofo en el cuadrante III, coinciden con las relaciones filogenéticas observadas por Sánchez y colaboradores (2000), para variables morfológicas.

la mazorca; sus granos son los que tienen el menor espesor y anchura, situación reflejada en las variables compuestas de espesor/longitud y anchura/longitud de 10 granos; la longitud de los granos es equiparable al del grupo IV de las tropicales dentadas. Todas las características mencionadas reflejan el interés productivo y comercial de los mejoradores genéticos: plantas con mazorcas de alto rendimientos en grano, con una altura moderada (accesible para la maquinaria agrícola) que tengan ciclos cortos de floración pero que produzcan una gran cantidad de polen que permita una fertilización elevada de la mazorca.

Los grupos IV y V contienen accesiones identificadas

por Sánchez *et al.* (2000) en el grupo de Tropicales dentadas (análisis de características morfológicas). Ambos grupos cuentan con plantas que superan los 220cm de altura total y los 130cm para sus mazorcas ambas con 14 hojas por planta con características de la espiga muy similares excepto por el número de ramificaciones primarias de la espiga (15 y 17). En cuanto a características de la mazorca sus pedúnculos son prácticamente iguales; existen diferencia respecto al número de hileras (10 y 12) y a la longitud de las mazorcas, donde el grupo IV cuenta con las más grandes de todos los grupos (19,3cm). En este sentido, el grupo V cuenta con las mazorcas con el mayor diámetro

(4,5cm). El grupo IV tiene los granos con mayor espesor (4,7mm) y el V con la mayor anchura y longitud de todos los grupos (10,4 y 11,3mm respectivamente). Ambos grupos contienen los granos más pesados y con mayor volumen de todos los grupos y los periodos de días a floración más largos.

Durante el muestreo se recolectaron accesiones pertenecientes a la raza Jala (J y JA), ambas aparecen en el grupo IV en el análisis de CP, a diferencia del dendrograma (grupos III y IV). Esto se puede explicar analizando el origen de dichas poblaciones; mientras que unas accesiones pertenecen a poblaciones establecidas durante décadas en Sinaloa (J), las otras pertenecen a una

población proveniente de Jala Nayarit, introducida a Sinaloa por un agricultor hace no más de cinco años (JA), obtenidas a partir de tres mazorcas como consecuencia de una visita a una feria de maíz en Jala, Nayarit. Las medias de las alturas para los grupos que contienen ambos casos coinciden con lo observado en campo; aquellas poblaciones establecidas en Sinaloa durante más tiempo cuentan con un promedio de altura menor a aquellas que fueron introducidas poco tiempo atrás (211 vs 228cm respectivamente). En el grupo III se encuentran aquellas accesiones que junto al grupo II tienen el pedúnculo de la espiga más largo, 23cm en promedio, y las espigas, mazorcas y anchura de grano más grandes junto con el IV.

En el grupo II se encuentran razas indígenas antiguas, prehistóricas mestizas de acuerdo a la clasificación propuesta por Wellhausen *et al.* (1951). Este grupo contiene accesiones identificadas por Sánchez *et al.* (2000) dentro del grupo Chapalote, así como por Arteaga *et al.* (2016) con una ligera diferencia: aparece la raza Bofo y no Elotero de Sinaloa. Ruiz *et al.* (2011) ubican la raza Bofo cercana al grupo de Chapalote, igual que Perales *et al.* (2014); sin embargo, ambos trabajos son producto del análisis de variables agroclimáticas, ecológicas y/o biogeográficas, por lo que la posición de la raza Bofo y Elotero de Sinaloa en nuestro estudio deben considerarse con precaución. En promedio, este conjunto de accesiones tiene la longitud del tramo ramificado de la espiga más corto de todos los grupos (11,5cm) y como consecuencia el número de ramificaciones primarias de la espiga es menor. Tienen en promedio 10 hileras de granos por mazorca, el diámetro de mazorca más pequeño (3,48cm), así como el del olote (2,1cm), por lo tanto sucede lo mismo con la relación diámetro/longitud de mazorca. Estas accesiones cuentan con los granos de menor longitud (9,7mm) y de menor peso.

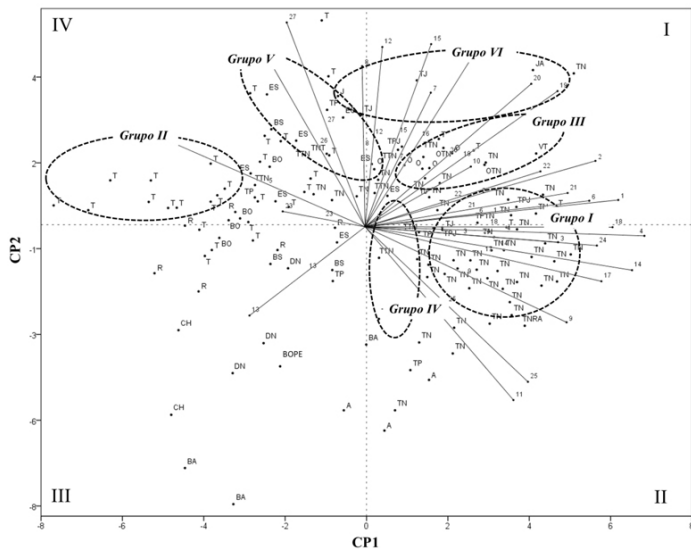


Figura 3. Dispersión de los CP1 y CP2 para las accesiones analizadas. A: Amarillo, BA: Blanco, BO: Bofo, BS: Blando de Sonora, CH: Chapalote, DN: Dulcillo del noroeste, ES: Elotero de Sinaloa, JA y J: Jala, O: Onaveño, R: Reventador, T: Tabloncillo, TN: Tuxpeño Norteño, TP: Tabloncillo-Perla, y V: Vandeño. Accesiones con dos o más componentes raciales: BOPE: Bofo-Reventador; OTN: Onaveño-Tuxpeño Norteño; TJ: Tabloncillo-Jala; TPJ: Tabloncillo Perla-Jala; TTN: Tabloncillo-Tuxpeño Norteño; TPTN: Tabloncillo Perla-Tuxpeño Norteño; TNRA: Tuxpeño Norteño-Ratón; TNT: Tuxpeño Norteño-Tabloncillo, y VT: Vandeño-Tabloncillo. Los números indican las variables involucradas (Ver Tabla II).

## Conclusiones

Doce razas de maíz nativo fueron identificadas: Bofo, Blando de Sonora, Chapalote, Dulcillo del Noroeste, Elotero de Sinaloa, Jala, Onaveño, Reventador, Tabloncillo, Tuxpeño Norteño, Tabloncillo Perl y Vandeño; y sus hibridaciones Bofo-Reventador, Onaveño-Tuxpeño Norteño, Tabloncillo-Jala, Tabloncillo Perla-Jala, Tabloncillo-Tuxpeño Norteño, Tabloncillo Perla-Tuxpeño Norteño, Tuxpeño Norteño-Ratón, Tuxpeño Norteño-Tabloncillo y Vandeño-Tabloncillo), contenidas en cinco grandes grupos raciales en el estado de Sinaloa. Existen poblaciones híbridas que contienen características fenotípicas compartidas con una u otra raza progenitora, donde algunas de ellas ejercen mayor influencia en la caracterización. La variabilidad observada se debe a las características fenotípicas de los materiales utilizados determinadas por su genotipo, donde el número de hojas por planta, el diámetro

de la mazorca, la longitud de la mazorca, el espesor y anchura de grano, la relación anchura/longitud de grano, y la floración masculina y femenina son las variables que aportan mayor información.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Sinaloa por el apoyo financiero a través del programa PROFAPI con el que se realizó una gran parte de este proyecto.

## REFERENCIAS

Anderson E, Cutler HC (1942) Races of *Zea mays*: I. Their recognition and classification. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 29: 69-88.

Aragón-Cuevas F, Castro FH, Dillanes N, Ortega JF, Hernández JM, Paredes E, Montes S, Muruaga JS, Taba S (2002) Conservación *in situ* y mejoramiento participativo de la "milpa" en Oaxaca, México. En Chávez-Servia JL, Tuxill J, Jarvis DI (Eds.) *Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agroecosistemas Tradicionales*. Instituto Internacional de

Recursos Fitogenéticos (IPGRI). Cali, Colombia. pp. 124-130.

Arteaga CM, Moreno-Letelier A, Mastretta-Yanes A, Vázquez-Lobo A, Breña-Ochoa A, Moreno-Estrada A, Eguiarte L, Piñero D (2016) Genomic variation in recently collected maize landraces from Mexico. *Genomics Data* 7: 38-45.

Caldú-Primo JL, Mastretta-Yanes A, Wegier A and Piñero D (2017) Finding a needle in a haystack: Distinguishing Mexican maize landraces using a small number of SNPs. *Front. Genet.* 8: 45

Castillo GF (1939) La variabilidad genética y el mejoramiento genético de los cultivos. *Ciencia, Rev. Acad. Inv. Cient. Méx.* Núm. Especial: 69-70.

Cervantes A, Castillo C, Carapia R, Andrade R, Núñez V, Villegas T, Perdomo R, Suárez R, López S (2016) Variabilidad genética y asociación morfológica entre poblaciones nativas de maíz y sus cruza F1. *Rev. Mex. Cs. Agric.* 7: 1919-1931.

Cervantes ST, Goodman MM, Casas DE, Rawlings JO (1978) Use of genetic effects and genotype by environmental interactions for the classification of Mexican races of maize. *Genetics* 90: 339-348.

Chávez E (1913) *Cultivo del Maíz*. Vol. 74. Dirección General de Agricultura. Secretaría de Fomento. México. 815 pp.

Doebley JF (2004) The genetics of maize evolution. *Annu. Rev. Genet.* 38: 37-59.

García E (2004) *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. 5a ed. Instituto de Geografía. UNAM. México. 252 pp.

Gil MA, Muñoz O (1994) Variabilidad en la floración en colecciones de maíz de la Sierra Tarasca. En Ramírez VP, Zavala GF, Treviño HN, Cárdenas CE, Martínez RM (Eds.) *Memorias del XV Congreso Nacional de Fitogenética*. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Universidad Autónoma de Nuevo León. pp: 25-30.

González C, Palacios RA, Espinoza B, Bedoya S (2013) Diversidad genética en maíces nativos mexicanos tropicales. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(Supl. 3-A): 329-338.

Gordón-Mendoza R, Camargo-Buitrago I (2015) Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. *Agron. Mesoam.* 26: 55-63.

Gordón-Mendoza R, Franco-Barrera J, Camargo-Buitrago I (2010) Adaptabilidad y estabilidad de 20 variedades de maíz, Panamá. *Agron. Mesoam.* 21: 11-20.

Hellin J, Bellon MR, Hearne SJ (2014) Maize landraces and adaptation to climate change in Mexico. *J. Crop Improv.* 28: 484-501.

Hernández XE, Alanis F (1970) Estudio morfológico de cinco razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 5: 3-30.

Herrera C, Castillo G, Sánchez GR, Ortega P, Goodman MM (2000) Caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz en una región: caso la raza Chalqueño. *Rev. Fitotec. Mex.* 23: 335-354.

Herrera-Saucedo V, Santacruz-Varela A, Rocandio-Rodríguez M, Córdova-Téllez L, Moreno-Ramírez YR, Hernández-Galeno CA (2019) Diversidad genética de maíces nativos del norte de México analizada mediante microsatélites. *Agrociencia* 53: 535-548.

IBPGR (1991) *Descriptors for Maize*. International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico City/International Board for Plant Genetic Resources, Rome. 88 pp.

INIA (1981) *Veinte Años de Investigación en el Centro de Investigaciones Agrícolas del Pacífico Norte (CIAPAN)*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Culiacán, México. 28 pp.

Kato Y, Mapes SL, Mera OJ, Serratos H, 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. 116 pp.

Matsuoka Y, Vigouroux Y, Goodman M, Sánchez J, Buckler E, Doebley J (2002) A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 99: 6080-6084.

Muñoz O (2003) *Centli Maíz*. Colegio de Posgraduados. Montecillo. México. 211 pp.

Ortega PR (1985) Recursos genéticos para el mejoramiento del maíz en México. Primera parte: Análisis general. *Germen* 3:19-36.

Ortega PR (2003) La diversidad del maíz en México. En Esteva G, Marielle G (Coords.) *Sin Maíz No Hay País*. Culturas Populares de México. pp: 123-154.

- Ortega PR, Sánchez G, Castillo F, Hernández C (1991) Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México. En Ortega PR, Palomino H, Castillo F, González H, Livera M (Eds.) *Avance en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México*. SOMEFI. Chapingo, México. pp: 161-185.
- Palacios VO, Ortega C, Guerrero H, Hernández C, Peinado F (2008) Componente I: Diversidad y distribución actual de los maíces nativos en Sinaloa. En *Proyecto FZ002. Conocimiento de la Diversidad y Distribución Actual del Maíz Nativo y sus Parientes Silvestres en México*. CONABIO-INIFAP. México. 100 pp.
- Pejic I, Ajmone M, Morgante M, Kozumplick, Castiglioni P, Taramino G, Motto M (1998) Comparative analysis of genetic similarity among maize inbred lines detected by RFLPs, RAPDs, SSRs and AFLPs. *Theor. Appl. Genetics* 97: 1248-1255.
- Perales H, Golicher D (2014) Mapping the diversity of maize races in México. *PLoS ONE* 9(12): e114657.
- Pineda-Hidalgo K, Méndez-Marroquín KP, Vega-Alvarez E, Chávez-Ontiveros J, Sánchez-Peña, Garzón-Tiznado JA, Vega-García MO, López-Valenzuela JA (2013) Microsatellite-based genetic diversity among accessions of maize landraces from Sinaloa in Mexico. *Hereditas* 150: 53-59.
- Pla LE (1986) *Análisis Multivariado: Métodos de Componentes Principales*. Organización de Estados Americanos. Washington, DC, EEUU. 94 pp.
- Pressoir G, Berthaud J (2004) Population structure and strong divergent selection shape phenotypic diversification in maize landraces. *Heredity* 92: 95-101.
- Rawlings OL (1998) *Applied Regression Analysis: A Research Tool*. Wadsworth and Brooks Cole. Pacific Grove, CA, EEUU. 553 pp.
- Rocandio-Rodríguez M, Santacruz-Varela A, Córdova-Téllez L, López-Sánchez H, Castillo-González F, Lobato-Ortiz R, García-Zavala JJ, Ortega-Paczka R (2014) Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de los Valles Altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 37: 351-361.
- Ruiz C, Durán P, Sánchez G, Ron P, González E, Holland G, Medina G, Holland B (2008) Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 maize races. *Crop Sci.* 48: 1502-1512.
- Ruiz JA, Ramírez D, Hernández C, Aragón C, Sánchez G, Ortega C, Medina G, Ramírez O (2011) Las razas mexicanas de maíz como Fuente de germoplasma para la adaptación al cambio climático. *Rev. Mex. Ciencias Agric.* (Num. Esp. 2): 365-379.
- Ruiz C, Hernández C, Sánchez G, Ortega C, Ramírez O, Guerrero H, Aragón C, Vidal M, Cruz L (2013) *Ecología y Distribución Actual y Potencial de Razas Mexicanas de Maíz*. Libro Técnico No. 5. INIFAP-CIRPAC. Tepatitlán de Morelos, México. 149 pp.
- Sánchez G, Goodman MM (1992) Relationships among the Mexican races of maize. *Econ. Bot.* 46: 72-85.
- Sánchez G, Goodman MM, Stuber CW (2000) Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54: 43-59.
- Sánchez G. (2011) Diversidad del Maíz y el Teocintle. Informe preparado para el proyecto: "Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México". Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Manuscrito.
- Santacruz-Varela A, Widrechner M, Ziegler K, Salvador R, Millard M, Betting P (2004) Phylogenetic relationships among North American popcorns and their evolutionary links to Mexican and South American popcorns. *Crop Sci.* 44: 1456-1467.
- SAS (2002) *SAS/STAT User's Guide*. Ver. 9. SAS Institute Inc., Cary, N.C., EEUU. 4424 pp.
- SIAP (2014) *Producción Agrícola*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. México. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/> (Cons. 07/2014).
- Turrent A, Serratos JA (2004) Context and background on maize and its wild relatives in Mexico. En *Maize and Biodiversity: The Effects of Transgenic Maize in Mexico*. Commission on Environmental Cooperation of North America. 55 pp. <http://www.cec.org/maize/resources/chapters.cfm?varlan=english> (Cons. 08/2016).
- Wellhausen EJ, Roberts LM, Hernández XE (1951) *Razas de Maíz en México, su Origen, Características y Distribución*. Folleto Técnico No. 5. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México. 237 pp.