

## Diversidad morfológica y agronómica de siete razas de maíz del estado de Chiapas

Braulio Torres-Morales<sup>1</sup>  
Mario Rocandio-Rodríguez<sup>2</sup>  
Amalio Santacruz-Varela<sup>1§</sup>  
Leobigildo Córdova-Téllez<sup>1</sup>  
Bulmaro Coutiño-Estrada<sup>3</sup>  
Higinio López-Sánchez<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (btorres@colpos.mx; lcordova@colpos.mx). <sup>2</sup>Instituto de Ecología Aplicada-Universidad Autónoma de Tamaulipas. División del Golfo 356, Colonia Libertad, Cd. Victoria, Tamaulipas. CP. 87019. (mrocandio@docentes.uat.edu.mx) <sup>3</sup>INIFAP. Carretera Cintalapa-Ocozocoautla km 3, Ocozocoautla, Chiapas. (coutino.bulmaro@inifap.gob.mx). <sup>4</sup>Colegio de Postgraduados-Campus Puebla. Carretera Federal México-Puebla km 125.5, Santiago Momoxpan, Puebla. CP. 72760. (higiniols@colpos.mx).

§Autor para correspondencia: asvarela@colpos.mx.

### Resumen

Los centros de origen y diversidad genética del maíz se encuentran localizados en México, en el estado de Chiapas se ubica una de las áreas con mayor diversidad y gran arraigo social hacia este cultivo. Se han realizado diversos estudios previos de dicha diversidad, los cuales han tenido la limitante de que incluyen un número reducido de poblaciones representativas de las razas reportadas. El objetivo de este estudio fue analizar la diversidad morfológica y agronómica de 42 accesiones pertenecientes a siete de las principales razas de maíz cultivadas en el estado de Chiapas. Las evaluaciones en campo se establecieron bajo diseños de bloques completos al azar con dos repeticiones, de esta forma, se sembraron en zona cálida, semicálida y templada, bajo condiciones de temporal en el ciclo primavera-verano de 2018. Los análisis de varianza detectaron diferencias significativas entre accesiones en el 79.1% de las variables analizadas y mediante el análisis de componentes principales se formaron tres grupos: el grupo I se integró de forma compacta por poblaciones de la raza Zapalote Grande, con una mayor similitud morfológica entre sus accesiones, el grupo II con las razas Comiteco y Tehua con amplitud morfológica entre sus poblaciones y el grupo III con las razas Olotón, Negrito, Negro de Chimaltenago y Motozinteco agrupadas por su ciclo fenológico y porte de planta. Los agrupamientos fueron congruentes con los obtenidos en el análisis de conglomerados, lo que refleja consistencia en las asociaciones y confirma la identidad de las razas de maíz previamente reportadas para el estado de Chiapas, además confirman la complejidad del germoplasma de maíz de esa zona, con amplia variación e interrelaciones entre las diferentes poblaciones y razas.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., análisis multivariado, caracterización fenotípica, Chiapas.

Recibido: febrero de 2022

Aceptado: mayo de 2022

## Introducción

Algunos de los centros del origen y diversificación del maíz se localizan en México, país megadiverso en el cual los sistemas orográficos, ambientales, culturales e interacción entre ellos, constituyen los principales motores de dicha diversidad (Muñoz *et al.*, 2009). En maíz, estas condiciones, aunado al tipo de polinización cruzada que lo caracteriza, han dado lugar a una amplia variación morfológica, lo que ha conducido a la adaptación a condiciones ambientales y ecológicas particulares de cada región. En este panorama de variación, el estado de Chiapas tiene una de las áreas con mayor diversidad genética del maíz en México (Muñoz, 2003; Perales y Hernández, 2005) representada por la región Chiapas-Oaxaca-Guatemala (Kato *et al.*, 2009).

Los esfuerzos para entender y estudiar la magnitud de la diversidad morfológica y de adaptación en los variados ambientes han enfocado la clasificación en la categoría de raza, como los realizados por Wellhausen *et al.* (1951); Goodman y Paterniani (1969); Sánchez *et al.* (1993). Estos estudios pioneros se basan en el uso de variables morfológicas, producto de la expresión fenotípica de los materiales evaluados para su propio reconocimiento, descripción y clasificación racial. Castillo (1993) menciona que es necesario conocer de manera detallada la variación existente entre y dentro de poblaciones para poder diseñar métodos de aprovechamiento y clasificación de la diversidad de los maíces nativos.

Estudios realizados en el análisis de la diversidad agronómica y morfológica en maíces nativos de razas cultivadas en el estado de Chiapas han utilizado una cantidad reducida de poblaciones representativas por cada raza, como los reportados por Doebley *et al.* (1985); Sánchez y Goodman (1992); Sánchez *et al.* (2000), quienes utilizaron de dos a cuatro accesiones por raza, entre las cuales se incluyen las razas Olotón, Comiteco, Motozinteco, Negro de Chimaltenango, Negrito, Tehua, Tepecintle y Zapalote Grande.

En otras investigaciones como las propuestas por Perales *et al.* (2005); Benz *et al.* (2007), quienes abordaron en sus estudios una muestra reducida de razas cultivadas en Chiapas o bien, se ha hecho referencia a estudios de los maíces con respecto a procesos sociales, de tipo histórico y cultural (Bellon y Brush, 1994; Keleman *et al.*, 2009), lo cual hace que se deba de profundizar con trabajos de investigación sobre el análisis de la diversidad para proponer estrategias de conservación y aprovechamiento de dicha diversidad genética. El maíz constituye la especie cultivada más importante en Chiapas; sin embargo, los trabajos de caracterización para generar conocimientos que valoren la diversidad morfológica y agronómica han sido escasos.

Los estos estudios anteriores proporcionan una visión susceptible de ser complementada mediante la diversidad existente dentro de cada una de las razas y sobre caracteres apropiados para la sistematización de la diversidad específicamente de maíces nativos originarios de Chiapas, bajo la hipótesis de que existe una amplia variación morfológica y agronómica intra-poblacional y entre razas cultivadas en Chiapas, las cuales pueden ser aprovechadas en un programa de mejoramiento por selección recurrente, el objetivo del presente trabajo de investigación consistió en analizar la diversidad morfológica y agronómica de una muestra de accesiones de siete razas de maíz presentes en el estado de Chiapas.

## Materiales y métodos

### Material genético

Se emplearon 42 accesiones representativas de siete razas de maíz del estado de Chiapas (Cuadro 1). La semilla utilizada procedió de los bancos de germoplasma del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y del Colegio de Postgraduados (CP).

**Cuadro 1. Razas y número de poblaciones caracterizadas en seis localidades de Chiapas.**

Raza	Lugares de evaluación	Abreviatura	Núm. de accesiones
Zapalote Grande	Villaflores y Ocozocoautla	Z	16
Comiteco	Teopisca y Comitán	C	7
Tehua	Teopisca y Comitán	T	4
Olotón	Rancho Nuevo y Mitzitón	O	8
Motozinteco	Rancho Nuevo y Mitzitón	M	4
Negrilo	Rancho Nuevo y Mitzitón	B	2
Negro de Chimaltenango	Rancho Nuevo y Mitzitón	N	1

### Sitios experimentales

Las evaluaciones se establecieron bajo condiciones de temporal en el ciclo agrícola primavera-verano (PV) 2018 en seis localidades: Centro Universitario de Transferencia de Tecnología San Ramón de la Universidad Autónoma de Chiapas en el municipio de Villaflores 16° 15' latitud norte, 93° 15' longitud oeste y 535 msnm, en el Campo Experimental Centro de Chiapas del INIFAP en Ocozocoautla de Espinosa 16° 28' latitud norte, 93° 46' longitud oeste y 810 msnm ambas localidades consideradas en zona cálida, Rancho Nuevo 16° 39.82' latitud norte, 92° 32.51' longitud oeste y 2 459 msnm) y Mitzitón 16° 37.92' latitud norte, 92° 32.53' longitud oeste y 2 446 msnm municipios de San Cristóbal de las Casas de zona templada, así como en el Campo auxiliar del INIFAP en el municipio de Teopisca 16° 32' latitud norte, 92° 28' longitud oeste y 1 779 msnm y Laguna Larga, municipio de Comitán 16° 24.90' latitud norte, 92° 15.27' longitud oeste y 1 994 msnm correspondientes a zona semicálida. La georreferenciación de los lugares se efectuó mediante un GPS modelo eTrex Vista® (Garmin LTD, Saitama, Japón). La distribución de las accesiones para su evaluación en los diferentes sitios se señala en el (Cuadro 1), la cual se basó en su clasificación racial, asignando las razas en su zona agroecológica de adaptación.

### Diseño y unidad experimental

Se utilizaron diseños experimentales en bloques completos al azar con dos repeticiones en los seis sitios de evaluación. La unidad experimental consistió en dos surcos de 5 m de longitud y de 0.8 m de ancho, con 11 matas por surco y dos plantas por mata, que representan una densidad de población de 55 000 plantas ha<sup>-1</sup>.

## Conducción de experimentos y manejo agronómico

Los experimentos se establecieron en las fechas: 12 de febrero de 2018 en Ocozocoautla, 03 de junio en Mitzitón y Rancho Nuevo, 04 de junio en Teopisca y Laguna Larga y 18 de junio en Villaflores. La mayoría de las siembras se efectuaron en condiciones de temporal, con excepción de la de Ocozocoautla que fue bajo un régimen de riego; la siembra se realizó depositando 3 semillas cada 50 cm, adicionando insecticida granulado Pounce® (3-Fenoxibencil (1RS)-cis, trans-(2,2-diclorovinil)-2,2-dimetil ciclopropano carboxilato) en dosis de 20 kg ha<sup>-1</sup>.

Posteriormente, cuando las plantas tenían aproximadamente 25 cm de altura, se efectuó un aclareo para dejar dos plantas por mata. Se empleó la fórmula de fertilización 90-46-21, la cual se aplicó en dos fracciones, 50% de N y todo el P y K en la primera aplicación a los 34 días y la segunda aplicación el resto de N a los 63 días después de la siembra. El control de malezas se realizó con aplicaciones de Atrazina 90% en dosis de 1.5 kg ha<sup>-1</sup> en la siembra y dos aplicaciones de glifosato y 2-4-D en dosis de 3.3 y 2 L ha<sup>-1</sup>, a los 20 y 45 días de emergidas las plantas.

Se efectuó control de plagas del follaje con aspersiones de Lambdacihalotrina 5% en dosis de 0.26 L ha<sup>-1</sup> a los 29 y una segunda aplicación a los 58 días después de la siembra y con el insecticida Pounce® en dosis de 5 kg ha<sup>-1</sup> dirigido al cogollo de las plantas. La cosecha de los experimentos se realizó el 28 junio de 2018 en Ocozocoautla, el 1 de octubre en Villaflores, el 03 de diciembre en Teopisca, el 09 de enero de 2019 en Laguna Larga y el 10 enero de 2018 en Mitzitón y Rancho Nuevo.

## Variables registradas

En cada parcela experimental se seleccionaron cinco plantas con competencia completa a las cuales se midieron variables fenológicas, de planta, espiga, mazorca y de grano de acuerdo con el descriptor del IBPGR (IBPGR, 1991), además se generaron seis variables adicionales mediante relaciones entre ellas. Las variables fenológicas registradas fueron: días a floración femenina (DFF) y días a floración masculina (DFM) contadas desde la siembra hasta el día en que 50% de las plantas emitieron estigmas receptivos y polen, respectivamente, así como asincrónica floral (AF), considerada como la diferencia entre ambas.

Durante el desarrollo vegetativo se midieron las variables: número de hijuelos por planta (NHP); altura de planta (AP) medida en cm desde el nivel del suelo hasta la punta de la espiga y altura de mazorca (AM) en cm hasta el nudo de inserción de la mazorca principal, así como la relación entre ambas (RPM); longitud (LHP) y anchura (AHP) de la hoja de la mazorca principal en cm; número de hojas arriba de la mazorca (HSM) y número total de hojas de la planta (NTH).

Después de la floración se registraron las siguientes mediciones de espiga en cm: longitud total (LTE) a partir del nudo superior hasta la punta de la rama central; longitud del tramo ramificado (LTR), como la distancia desde la primera hasta la última rama primaria; longitud de la rama central de la espiga (LRC) medida desde el punto de inserción de la rama primaria superior hasta la punta de la espiga; longitud del pedúnculo (LP) desde el nudo de inserción de la espiga en la planta hasta el punto de inserción de la rama primaria inferior; se contó el número de ramificaciones primarias (NRP) y se determinó la relación entre longitud del tramo ramificado y longitud total de la espiga (RTRE).

Después de la cosecha se seleccionaron cinco mazorcas de cada unidad experimental a las cuales se les midió: diámetro (DM) registrado en la parte media; longitud (LM) de la base a la punta, la distancia desde el nudo de inserción del pedúnculo hasta la base de la mazorca fue considerada como longitud del pedúnculo de la mazorca (LPM) y el diámetro del olote (DOL) en la parte media; estas variables se registraron en cm, además del número de hileras por mazorca (NHM) y la relación entre el diámetro y la longitud de la mazorca (RDLM).

Se obtuvieron al azar 10 granos de cada una de las cinco mazorcas y se les midió: anchura (AG), longitud (LG) y espesor (EG) en cm para obtener su promedio; asimismo, se obtuvieron 100 granos al azar de cada unidad experimental y se registró su peso en g (P100G) y su volumen (V100G) en cm<sup>3</sup>. También se determinó el porcentaje de desgrane (DES) mediante el cociente del peso de grano entre el peso de la mazorca multiplicado por 100 y se estimaron las relaciones: anchura sobre longitud (RALG), espesor sobre longitud de grano (RELG) y peso sobre volumen de 100 granos (RPVG).

### Análisis estadístico

Se efectuó análisis de varianza combinado a través de localidades dentro de cada zona climática. Se realizó un análisis de componentes principales utilizando la matriz de correlaciones entre las variables. Con los valores de los dos primeros componentes principales se creó un gráfico de dispersión de las poblaciones. También se realizó un análisis de conglomerados con datos estandarizados a la distribución normal (0, 1), utilizando distancias euclidianas y el método de ligamiento promedio (UPGMA). Para definir el número de grupos poblacionales en el dendrograma se utilizó el índice Pseudo F. Estos análisis se efectuaron con el uso de los paquetes estadísticos SAS<sup>®</sup> V.9.0 (SAS Institute, 2002) y NTSYSpc<sup>®</sup> V.2.21 (Rohlf, 2009).

## Resultados y discusión

### Análisis de varianza

De acuerdo con el análisis de varianza combinado aplicado por zona climática, que incluyó 16 poblaciones en zona cálida, 11 poblaciones en semicálida y 15 en templada. Se detectaron diferencias estadísticas significativas entre los genotipos en la mayoría de las variables analizadas, correspondiendo 50% de variables con significancia en la zona cálida, 84% en la zona semicálida y 81% en la zona templada (Cuadro 2), lo que indica la existencia de diversidad entre las poblaciones que representan las razas estudiadas.

**Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado a través de localidades dentro de zonas agroclimáticas de Chiapas.**

Var	Zona cálida				Zona semicálida				Zona templada			
	Genotipo	Localidad	G × L	Error	Genotipo	Localidad	G × L	Error	Genotipo	Localidad	G × L	Error
DFE	63.24**	2058.68**	8.5*	2.5	298.84**	44.3*	65.76**	10.22	699.98**	1.06ns	136.85*	40.76
DFM	64.83**	1494.22**	6.75*	3.05	285.16**	4.92ns	51.25**	6.73	887.63**	21.12ns	112.68*	34.56
AF	1.25ns	36.12**	0.62ns	1.86	7.47ns	14.01ns	6.97ns	3.87	11.98ns	80.85*	15ns	10.76
NHP	0.02ns	0ns	0.004ns	0.01	0ns	0ns	0ns	0	0.01*	0.002ns	0.003ns	0.006

Var	Zona cálida				Zona semicálida				Zona templada			
	Genotipo	Localidad	G × L	Error	Genotipo	Localidad	G × L	Error	Genotipo	Localidad	G × L	Error
AP	1108.1**	74061.2**	259.5ns	158.3	4662.1**	140233.8**	528.1ns	346.4	2348.2*	106983.9**	1498.2*	769.2
AM	876.26**	9103.5**	202.55*	90.53	3139**	76316.5**	320.38ns	183	1094.5**	59806.1**	566.61*	230.5
RPM	0.007**	0.09**	0.002ns	0.002	0.012**	0.16**	0.003*	0.001	0.01ns	0.33**	0.01ns	0.008
NTH	7.3ns	103.2ns	0.85ns	0.69	2751.2ns	47010.2**	2763.2ns	2281	11.08**	93.38**	7.61**	0.82
HSM	0.82**	38.72**	0.19ns	0.13	0.85**	2.58**	0.17ns	0.11	2.34**	0.24ns	0.66*	0.21
LHP	45.82ns	124.29ns	30.92ns	22.29	100.39ns	2331.6**	33.14ns	51.01	132.46*	11387.92**	135.46**	57.89
AHP	0.87*	33.62**	0.21ns	0.3	2.4**	32.01**	0.99*	0.24	1.14ns	61.97**	1.51*	0.64
LTE	21.43*	5023.36**	8.23ns	8.61	44.69*	25.76ns	12.53ns	14.52	26.82ns	555**	25.44ns	14.43
LP	9.24ns	0.98ns	6.93ns	5.18	25.26**	60.95*	7.1ns	3.67	63.53**	2.84ns	12.21*	5.62
LRC	7.17ns	50.16*	8.61ns	4.88	31.72*	79.26*	4.31ns	6.19	30.01*	9.22ns	16.17ns	10.7
LTR	5.58ns	0.06ns	1.5ns	1.51	12.84*	210.4**	2.8ns	4.11	7.92*	276.12**	8.1*	3.54
NRP	26.33ns	251.62*	22.88ns	24.69	41.08**	97.48*	11.47ns	5.9	20.38*	544.5**	7.4ns	5.74
RTRE	0.002*	0.21**	0.001*	0.001	0.007*	0.11**	0.002ns	0.001	0.008ns	0.08*	0.005ns	0.005
LM	8.99**	1.53ns	1.34ns	1.01	17.59**	344.32**	8.59*	2.24	14.2ns	6.53ns	13.31ns	1.24
DM	0.09ns	7.54**	0.05ns	0.05	0.62**	38.15**	0.32*	0.07	1.08**	6.58**	1.03**	0.04
NHM	1.76*	0.06ns	0.71ns	0.54	7.03**	289.88**	6.61*	0.97	5.21*	14.1*	2.48ns	1.49
LPM	3.82ns	68.83**	2.17ns	2.68	8.64*	215.95**	1.81ns	3.22	6.08*	94.38**	4.79ns	2.61
DOL	0.17**	0.4**	0.03ns	0.01	0.18*	5.14**	0.1ns	0.03	0.25**	0.003ns	0.07*	0.02
RDLM	0.007*	0.08**	0.002ns	0.002	0.008**	0.01*	0.006*	0.001	0.02**	0.1**	0.01*	0.003
LG	0.6ns	0.05ns	0.3ns	0.31	4.96**	116.31**	1.22*	0.43	0.97**	6.04**	0.54*	0.15
AG	0.33ns	1.78ns	0.1ns	0.15	5.44**	28.58**	0.87*	0.34	0.63**	0.01ns	0.69**	0.07
EG	0.34ns	0.3ns	0.09ns	0.14	1.54*	5.82**	1.07*	0.25	0.55**	0.53*	0.31**	0.05
DESG	13.04ns	85.8*	14.99ns	22.64	221.72**	6077.11**	125.22*	28.3	242.99**	30.91ns	130.33*	50.52
P100G	21.3ns	11.68ns	15.62ns	12.28	160.44**	6784.79**	53.23*	16.82	87.64**	40.57*	38.83*	9.5
V100G	37.16*	53.38ns	30.91ns	18.08	679.63**	9972.26**	88.72*	35.79	91.44*	699.3**	63.6ns	31.89
RALG	0.005*	0.01*	0.002ns	0.002	0.04**	0.12**	0.01*	0.002	0.005**	0.08**	0.004**	0.001
RELG	0.004*	0.002ns	0.001ns	0.002	0.02*	0.02*	0.01*	0.004	0.007**	0.004*	0.007**	0.001
RPVG	0.003ns	0.02ns	0.004ns	0.003	0.15ns	0.04ns	0.12ns	0.007	0.02*	0.07*	0.01ns	0.007

\* =  $p \leq 0.05$ , \*\* =  $p \leq 0.01$ ; ns = no significativo; Var = variable; DFF = días a floración femenina =; DFM = días a floración masculina; AF = asincronía floral; NHP = número de hijuelos por planta; AP = altura de planta; AM = altura de mazorca; RPM = relación altura de planta y mazorca; NTH = número total de hojas; HSM = hojas superiores de mazorca; LHP = longitud de hoja de planta; AHP = ancho de hoja de planta; LTE = longitud total de la espiga; LP = longitud del pedúnculo; LRC = longitud de la rama central de la espiga; LTR = longitud del tramo ramificado; NRP = número de ramas primarias; RTRE = relación tramo ramificado y longitud; LM = longitud de mazorca; DM = diámetro de mazorca; NHM = número de hileras de mazorca; LPM = longitud del pedúnculo de mazorca; DOL = diámetro de olote; RDLM = relación diámetro y longitud de mazorca; LG = longitud de grano, AG = ancho de grano; EG = espesor de grano; DESG = porcentaje de desgrane; P100G = peso de 100 granos; V100G = volumen de 100 granos; RALG = relación ancho y longitud de grano; RELG = relación espesor y longitud de grano; RPVG = relación peso y volumen de grano.

También, en el presente estudio se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$  y  $0.01$ ) entre localidades en 18 variables en la zona cálida, 28 en la zona semicálida y 22 en la zona templada, de las 32 variables registradas. La interacción genotipo  $\times$  ambiente resultó significativa ( $p \leq 0.05$  y  $0.01$ ) en 13, 50 y 63% de las variables registradas para la zona cálida, semicálida y templada, respectivamente, estos resultados muestran la influencia de otros factores como el ambiente en el comportamiento diferencial que exhiben las poblaciones en caracteres morfológicos moldeados con los criterios de los agricultores.

### Análisis de componentes principales

Considerando las 32 variables registradas, las cuales han sido utilizadas en diferentes estudios de diversidad genética de maíz nativo por su utilidad para diferenciar poblaciones (Vega-Álvarez *et al.*, 2017; Linares-Holguín *et al.*, 2019), se efectuó el análisis de componentes principales (Cuadro 3), en el cual los primeros seis componentes explicaron 80% de la variación total observada. El primer componente principal contribuyó con 40.6% de la variación total, el segundo con 18.4% y los componentes del 3 al 6 explicaron el 22.7% (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Vectores, valores propios y proporción de la varianza explicada por los dos primeros componentes principales (CP) en 42 poblaciones de siete razas de maíz del estado de Chiapas.**

Variables	CP1	CP2
Días a floración femenina (DFF)	-0.232	0.181
Días a floración masculina (DFM)	-0.232	0.176
Asincronía floral (AF)	-0.176	0.201
Número de hijuelos por planta (NHP)	0.047	0.02
Altura de planta (AP)	0.13	0.338
Altura de Mazorca (AM)	0.212	0.225
Relación altura de planta y mazorca (RPM)	0.219	-0.037
Número total de hojas (NTH)	0.048	0.296
Hojas superiores de mazorca (HSM)	0.074	0.154
Longitud de hoja de planta (LHP)	0.248	0.045
Ancho de hoja de planta (AHP)	0.124	0.258
Longitud total de la espiga (LTE)	0.249	-0.084
Longitud del pedúnculo (LP)	0.058	0.077
Longitud de la rama central de la espiga (LRC)	0.037	0.104
Longitud del tramo ramificado (LTR)	0.216	0.193
Número de ramas primarias (NRP)	0.183	0.13
Relación tramo ramificado y longitud (RTRE)	0.055	0.321
Longitud de mazorca (LM)	0.162	0.265
Diámetro de mazorca (DM)	0.216	-0.074
Número de hileras de mazorca (NHM)	0.097	-0.147

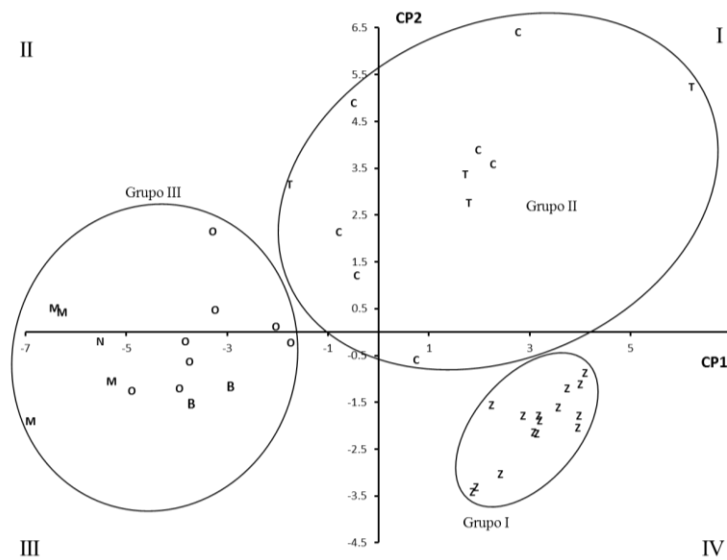
Variables	CP1	CP2
Longitud del pedúnculo de mazorca (LPM)	0.196	-0.132
Diámetro de olote (DOL)	0.208	-0.015
Relación diámetro y longitud de mazorca (RDLM)	-0.105	-0.245
Longitud de grano (LG)	0.252	-0.098
Ancho de grano (AG)	0.231	-0.004
Espesor de grano (EG)	-0.160	0.212
Porcentaje de desgrane (DESG)	0.126	-0.284
Peso de 100 granos (P100G)	0.224	0.077
Volumen de 100 granos (V100G)	0.233	0.083
Relación ancho y longitud de grano (RALG)	-0.132	0.154
Relación espesor y longitud de grano (RELG)	-0.237	0.143
Relación peso y volumen de grano (RPVG)	-0.056	0.04
Valor propio	12.99	5.88
Varianza explicada (%)	40.61	18.38

Las variables originales de mayor contribución para la definición de la variabilidad en el primer componente principal fueron: AP, RTRE, NTH, DESG, LM, AHP, RDLM, AM, EG, AF, LTR, DFF y DFM, mientras que las variables LG, LTE, LHP, RELG, V100G, DFM, DFF, AG, P100G, RPM, LTR, DM y AM contribuyeron mayormente en la definición de la variación del componente 2.

La alta proporción explicada con un número bajo de componentes permite una eficiente interpretación de la variación (Pla, 1986; León *et al.*, 2008), de esta forma, mediante un diagrama de dispersión construido con los dos primeros componentes principales (Figura 1), fue posible observar las poblaciones de las razas Zapalote Grande, Motozinteco, Olotón y Negrito las cuales mostraron mayor diferenciación morfo-agronómica, integrándose en tres grupos. El grupo I localizado, en el cuadrante IV se integró con las poblaciones de la raza Zapalote Grande, lo que indica que poseen una marcada identidad morfológica, la cual está determinada principalmente por las variables: DFF (61.5), DFM (59.1), AP (195.9 cm), AM (109.1 cm), RPM (0.6), HSM (5.1), AHP (8.2 cm), LTE (44.1), RTRE (0.3), LM (11.6), NHM (11.4), DOL (2.4), RDLM (0.4).

En este grupo se distinguen plantas de porte bajo y ciclo fenológico corto, lo cual contrasta con lo reportado por Sánchez y Goodman (1992), quienes reportaron alturas de 250 a 320 cm y de 85 a 105 días a floración en la misma raza, estos autores catalogaron a esta raza dentro del grupo de dentados tropicales que se cultivan en las regiones de elevación media y baja de Chiapas. Sánchez *et al.* (2000) mencionan que esta raza se adapta principalmente a bajas elevaciones y generalmente muestra plantas de porte bajo, Ortega (2007) agregó que corresponden a un subgrupo de ciclo corto, lo que coincide con los resultados del presente estudio.





**Figura 1. Dispersión de 42 poblaciones de maíz del estado de Chiapas con base en los dos primeros componentes principales, construido con 19 variables morfológicas.** Razas (C: Comiteco, M: Motozinteco, B: Negrito, N: Negro de Chimaltenango, O: Olotón, T: Tehua, Z: Zapalote Grande).

El Grupo II se integró por poblaciones de las razas Comiteco y Tehua, que se dispersaron en los cuadrantes I, II y IV. Las poblaciones de estas razas se caracterizaron por tener floraciones intermedias (109.9 y 104.4 días), plantas con 270.8 y 266.8 cm de altura, espigas con 37.2 y 36.1 y mazorcas de 15.8 y 14.4 cm, valores similares reportados por Wellhausen *et al.* (1951) para la descripción de estas razas. La dispersión de las poblaciones de estas razas, representada en la gráfica, probablemente es producto de movilidad entre nichos y flujo génico constante entre ellas, pues son poblaciones cultivadas por los productores de zona semi-cálida colindantes, donde es común el intercambio de semillas entre agricultores.

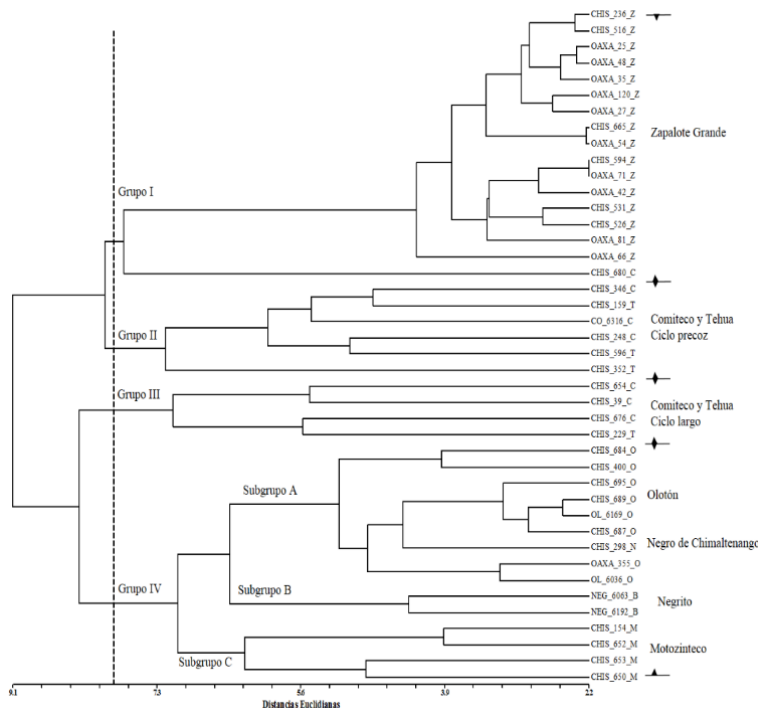
Al respecto Perales y Hernández (2005) refieren que la diversidad de caracteres morfológicos es mayor en algunas regiones de transición rápida entre los climas templados y cálidos. En el estudio realizado por Reif *et al.* (2006) las razas Olotón, Comiteco, Tehua y Zapalote Grande se mostraron cercanas, probablemente debido a que comparten características genéticas en común y en tal caso, el origen geográfico, aunque también cabe la posibilidad de cercanía por probabilidad, al tratarse de un estudio donde se incluyó solamente una accesión por raza; por su parte, Doebley *et al.* (1985) encontraron que las razas Olotón, Comiteco, Tehua y Zapalote Grande no se ubicaron en grupos bien definidos.

El grupo III, conformado por poblaciones de las razas Olotón, Negrito, Negro de Chimaltenango y Motozinteco, se ubicó entre los cuadrantes II y III, las poblaciones presentaron características en común como floraciones tardías (DFF 143.7 y DFM 138.8), mayores a las reportadas por Wellhausen *et al.* (1951), alturas de planta y mazorca con 180 y 76.6 cm, 30.2 cm de longitud de espiga, 9.8 ramas primarias en la espiga, mazorcas con 9.3 cm de longitud y 3.2 cm de diámetro y granos con 8.4, 7.8 y 4.9 mm de longitud, ancho y espesor respectivamente. Estas poblaciones forman parte del grupo que Sánchez *et al.* (2000) clasificaron como de madurez tardía, lo cual

muestra concordancia también con lo reportado por Ortega (2007), en las variables altura de planta y longitud de mazorca, y menores a lo reportado por Sánchez y Goodman (1992) con 320 a 380 y 18 a 22 cm respectivamente, la expresión de estos caracteres se vio afectada por un periodo de sequía largo (aproximadamente 25 días) durante su desarrollo.

### Análisis de conglomerados

Los agrupamientos observados mediante el análisis de componentes principales resultaron congruentes con los del análisis de conglomerados con base en los datos de todas las poblaciones y variables evaluadas, lo que refleja consistencia en las asociaciones, manifestando un continuo con respecto a la diversidad de zonas agroclimáticas del estado de Chiapas, como precocidad y caracteres agronómicos (Sánchez *et al.*, 1993; Sánchez *et al.*, 2000). De la diversidad de poblaciones que se analizaron, el dendrograma permitió diferenciar cuatro grupos a una distancia euclidiana de 7.8 unidades, de acuerdo con el estadístico Pseudo F (Figura 2).



**Figura 2. Dendrograma de 42 accesiones de maíz del estado de Chiapas, construido mediante UPGMA con distancias euclidianas derivadas de 32 variables morfológicas y agronómicas.**

Las poblaciones precoces y de mazorca pequeña quedaron agrupadas en la parte superior del dendrograma, seguidas de las poblaciones intermedias y en la parte inferior las poblaciones de ciclo largo, mazorca grande y de base abultada, lo que concuerda con lo expuesto por Ortega (2007). En el Grupo I se aglomeraron las poblaciones de ciclo corto cultivadas en zona cálida, correspondientes a la raza Zapalote Grande. Las poblaciones evaluadas de las razas Comiteco y Tehua fueron distribuidas mayormente en dos grupos, el grupo II que incluyó a las más precoces (101 DFF) y el grupo III a las que presentaron ciclos largos (hasta 123 días a floración femenina), sólo una accesión de la raza Comiteco se ubicó en el grupo I.

Se sabe que los maíces cultivados por los agricultores se encuentra en una dinámica de constante cambio orientado por preferencias e intereses a nivel del núcleo familiar de los agricultores y de las condiciones ambientales del nicho ecológico, influencia de la diversidad étnica, adaptabilidad (Muñoz, 2003), movimiento de semillas entre agricultores que orienta la distribución de poblaciones de maíz más allá de su hábitat primario (Brush y Perales, 2007), propiciando un escenario de erosión genética. Actualmente, de acuerdo con Perales y Hernández (2005); Brush y Perales (2007), la raza Comiteco presenta una distribución amplia que va desde los 900 hasta los 2 500 msnm, en contraste con lo reportado por Wellhausen *et al.* (1951), con una amplitud de 1 000 a 1 500 msnm.

En el grupo IV se observaron tres subgrupos correspondientes a poblaciones de la zona templada de ciclo largo: el subgrupo A conformado por poblaciones de la raza Olotón, con plantas de 146 DFF y 140 DFM, pocos hijuelos por planta (promedio de 0.08) con diámetros de olote de 2.03 cm y Negro de Chimaltenango, con floración femenina y masculina de 158 y 152 días, respectivamente, las poblaciones de ambas razas presentaron alturas que fueron de 162 a 193 cm. El subgrupo B concentró poblaciones de la raza Negrito con 120 DFF y 114 DFM, con alturas de planta dentro del mismo intervalo que las anteriores, mayor número de hojas totales (13.7) y diámetro de olote (2.5), y el subgrupo C compuesto con poblaciones de la raza Motozinteco con floraciones muy tardías (156 DFF y 152 DFM), mayor cantidad de hojas arriba de la mazorca (5.5) y una gran longitud de grano (8.37 mm).

De acuerdo con los resultados, existe variabilidad genética en el conjunto de poblaciones que representa a cada una de las razas del estado de Chiapas y la complejidad de estas se conjuga a nivel morfológico entre distintos tipos clasificados como razas con anterioridad, de tal manera que algunas poblaciones se agrupan con otras de razas de origen común, dado que comparten características.

## Conclusiones

Se observó amplia diversidad fenotípica entre las poblaciones evaluadas correspondientes a siete razas de maíz del estado de Chiapas. La raza mestiza prehistórica Zapalote Grande es la más definida en los agrupamientos, presenta plantas de ciclo precoz y mazorcas de tamaño intermedio, características de maíces de zona cálida. Las agrupaciones presentadas por el análisis de componentes principales y por el análisis de conglomerados son congruentes, lo que refleja consistencia en las asociaciones usando todas las variables evaluadas.

El análisis de conglomerados mostró a las razas Comiteco y Tehua divididas en dos grupos diferenciados por el periodo de floraciones. Las razas Olotón, Negrito, Negro de Chimaltenango y Motozinteco se aglomeraron formando el grupo de maíces tardíos de zona templada. La amplitud de dispersión de estas poblaciones, así como su agrupación en el análisis de conglomerados indican que es necesario profundizar en este tipo de estudios en estas razas con un número aún mayor de accesiones o con marcadores moleculares. Las asociaciones confirman la complejidad del germoplasma de maíz de esa zona, con su variación, agrupamientos e interrelaciones entre las diferentes poblaciones. Este conocimiento puede aplicarse para proponer un mejor diseño de programas para la conservación, manejo y aprovechamiento de la diversidad genética de las razas de maíz del estado de Chiapas.

## Literatura citada

- Bellon, M. R. and Brush, S. B. 1994. Keepers of maize in Chiapas, Mexico. *Econ. Bot.* 4(2):196-209. <https://doi.org/10.1007/BF02908218>.
- Benz, B.; Perales, H. and Brush, S. 2007. Tzeltal and Tzotzil farmer knowledge and maize diversity in Chiapas, Mexico. *Current Anthropology.* 48(2):289-300. <https://doi.org/10.1086/512986>.
- Brush, S. B. and Perales, H. R. 2007. A maize landscape: ethnicity and agro-biodiversity in Chiapas Mexico. *Agric. Ecosystems Environ.* 121(3):211-221. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.018>.
- Castillo G. F. 1993. La variabilidad genética y el mejoramiento genético de los cultivos. *Ciencia.* 44(1):69-79.
- Doebley, J. F.; Goodman, M. M. and Stuber, C. W. 1985. Isozyme variation in the races of maize from Mexico. *Am. J. Bot.* 72(5):629-639. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1985.tb08320.x>.
- Goodman, M. M. and Paterniani, E. 1969. The races of maize: III. Choices of appropriate characters for racial classification. *Econ. Bot.* 23(3):265-273. <https://doi.org/10.1007/BF02860459>.
- IBPGR. 1991. Descriptors for maize. International maize and wheat improvement Center, México city/international board for plant genetic resources, Rome. 88 p.
- Kato, Y. T. A.; Mapes S. C.; Mera, O. M.; Serratos, H. J. A. y Bye, B. R. A. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México, DF. 69-81 pp.
- Keleman, A.; Hellin, J. and Bellon, M. R. 2009. Maize diversity, rural development policy, and farmers' practices: lessons from Chiapas, Mexico, DF. *The Geographical J.* 175(1):52-70. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2008.00314.x>.
- León, G. A.; Llinás, H. S. y Tilano, J. 2008. Análisis multivariado aplicando componentes principales al caso de los desplazados. *Ingeniería y Desarrollo.* 23:119-142.
- Linares-Holguín, O. O.; M. Rocandio-Rodríguez, A.; Santacruz-Varela, J. Á.; López-Valenzuela, L.; Córdova-Téllez, S.; Parra-Terraza, A.; Leal-Sandoval, I. E.; Maldonado-Mendoza, P. y Sánchez-Peña, P. 2019. Caracterización fenotípica y agronómica de maíces (*Zea mays* ssp. *mays* L.) nativos de Sinaloa, México. *Interciencia.* 44(7):421-428.
- Muñoz, O. A. 2003. Centli maíz. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 211 p.
- Muñoz, O. A.; Miranda, S. C. J.; Cuevas, A. S.; Santacruz, A. V. y Sánchez, S. D. 2009. Resistencias. Prehistoria, historia y diferencias de Teocintle a maíz. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 109 p.
- Ortega, P. R. 2007. La diversidad del maíz en México. *In: sin maíz no hay país.* Esteva, G. y Marielle, C. (Comps.). Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (CONACULTA). México, DF. 123-154 pp.
- Perales, R. H. y Hernández, J. M. C. 2005. Diversidad del maíz en Chiapas. *In: González-Espinosa, M.; Ramírez-Marcial N. y Ruiz-Montoya L. (Coord.). Diversidad biológica en Chiapas.* Plaza y Valdés, SA de CV. México, DF. 419-440 pp.
- Perales, R. H.; Benz, B. F. and Brush, S. B. 2005. Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* 102(3): 949-954. <https://doi.org/10.1073/pnas.0408701102>.

- Pla, L. E. 1986. Análisis multivariado: métodos de componentes principales. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos (OEA). Washington, DC. 94 p.
- Reif, J. C.; Warburton, M. L.; Xia, X. C.; Hoisington, D. A.; Crossa, J. S.; Taba, J.; Muminović, M. Frisch, B. M. and Melchinger A. E. 2006. Grouping of accessions of Mexican races of maize revisited with SSR markers. *Theor. Appl. Gen.* 113(2):177-185. <https://doi.org/10.1007/s00122-006-0283-5>.
- Rohlf, F. J. 2009. NTSYSpc: numerical taxonomy system. Version 2.21c. Exeter Software: setauket: New York.
- Sanchez, G. J. J. and Goodman, M. M. 1992. Relationship among the Mexican races of maize. *Econ. Bot.* 46(1):72-85. <https://doi.org/10.1007/BF02985256>.
- Sánchez, G. J. J.; Goodman, M. M. and Rawlings, J. O. 1993. Appropriate characters for racial classification in maize. *Econ. Bot.* 47(1):44-59. <https://doi.org/10.1007/BF02862205>.
- Sánchez, G. J. J.; Goodman, M. M. and Stuber, C. W. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54:43-59. <https://doi.org/10.1007/BF02866599>.
- SAS Institute. 2002. SAS/STAT User's Guide, Software version 9.0. Cary, NC, USA. 4424 p.
- Vega-Álvarez, I.; Santacruz-Varela, A.; Rocandio-Rodríguez, M.; Córdova-Téllez, L.; López-Sánchez, H.; Muñoz-Orozco, A. and Hernández-Bautista, A. 2017. Genetic diversity and structure of native maize races from northwestern Mexico. *Pesquisa Agrop. Bras.* 52(11):1023-1032. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017001100008>.
- Wellhausen, E. J.; Roberts, L. M. and Hernández, E. X. 1951. Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Folleto técnico núm. 5. Oficina de Estudios Especiales (OEE). Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG). México, DF. 237 p.