

La diversidad de maíces nativos persiste en áreas rurales en transición hacia lo urbano

Maize landrace diversity persists in rural areas in transition to urban areas

Toxtle-Flores, P.¹ , Gil-Muñoz, A.^{1*} , López, P. A.¹ , Silva-Gómez, S. E.² 

¹ Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla Núm. 205, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, C.P.72760, Puebla, México.

² Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 4 Sur 104 Centro Histórico C.P. 72000. Puebla, México.



Please cite this article as/Cómo citar este artículo: Toxtle-Flores, P., Gil-Muñoz, A., López, P. A., Silva-Gómez, S. E. (2023). Maize landrace diversity persists in rural areas in transition to urban areas. *Revista Bio Ciencias*, 10, e1452. <https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1452>

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: January 29th 2023.

Accepted/Aceptado: May 25th 2023.

Available on line/Publicado: May 30th 2023.

RESUMEN

Entre los factores que se afirma amenazan la diversidad de maíces nativos está la creciente urbanización, pues ocasiona la reducción de áreas agrícolas y contribuye a la pérdida de variedades. Aun cuando el proceso de urbanización está ocurriendo en varias áreas rurales, actualmente son escasos los estudios orientados a precisar el nivel de diversidad morfológica presente en los maíces aún cultivados en tales espacios y a determinar su grado de asociación con las razas ahí reportadas. Ello constituyó el objetivo de esta investigación. Por tanto, durante el año 2021, en el municipio de Coronango, Puebla, se recolectaron 54 poblaciones nativas que, junto con tres testigos raciales, seis variedades experimentales y un testigo comercial, se evaluaron bajo temporal en tres juntas auxiliares del municipio, utilizando un diseño látice simple 8x8. Se cuantificaron 37 variables (fenológicas, morfológicas, e índices derivados), las cuales se sometieron a análisis de varianza combinado, de conglomerados y de componentes principales. Hubo diferencias altamente significativas entre materiales para las 37 variables evaluadas. El análisis multivariado reveló la existencia de tres grupos de poblaciones nativas, diferenciados entre sí básicamente por coloración del grano, precocidad y características de hoja, espiga, mazorca y grano. Tales grupos mostraron escasa relación con las razas Cónico y Elotes cónicos, pero uno de los de grano blanco se asoció con la raza Chalqueño. Se concluye que, pese a las presiones que enfrenta este espacio en transición entre lo rural y lo urbano, aún persiste un nivel importante de diversidad morfológica entre los maíces ahí cultivados.

PALABRAS CLAVE: Agricultura periurbana, diversidad genética, poblaciones nativas de maíz, urbanización.

*Corresponding Author:

Abel Gil-Muñoz. Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla Núm. 205, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, C.P.72760, Puebla, México. Tel:+52(222) 285 14 42. Ext:2061. E-mail: gila@colpos.mx

ABSTRACT

Among the factors that are known to threaten the diversity of maize landraces is increasing urbanization, as it causes the reduction of agricultural areas and contributes to the loss of varieties. Although the urbanization process is occurring in several rural areas, there are currently few studies aimed at determining the level of morphological diversity present in the maize landraces still cultivated in these areas and at determining the association degree with the races reported therein. This was the objective of this research. Therefore, during the year 2021, in the Coronango municipality, Puebla, 54 maize landraces were collected which, along with three racial controls, six experimental varieties, and a commercial control, were evaluated under rainfed conditions in three auxiliary boards of the municipality, using a simple 8×8 lattice design. Thirty-seven variables (phenological, morphological, and derived indices) were quantified and subjected to a combined analysis of variance, cluster and principal components analyses. There were highly significant differences among materials for the 37 evaluated variables. Multivariate analysis revealed the existence of three groups of landraces, differentiated from each other basically by grain color, earliness, and characteristics of leaf, tassel, ear, and kernel. These groups showed little relationship with the Cónico and Elotes cónicos races, with the exception of one of the white grain groups, that was associated with the Chalqueño race. It is concluded that, despite the pressures faced by this area in transition between rural and urban conditions, an important level of morphological diversity persists among the maize landraces cultivated therein.

KEY WORDS: Peri-urban agriculture, genetic diversity, maize landraces, urbanization.

Introducción

A nivel mundial, México es reconocido como el espacio geográfico donde se originó y domesticó el maíz, así como un centro de diversificación importante (Ortega *et al.*, 2013). Evidencia de esto último es que en la actualidad se reporta la existencia de 68 razas, distribuidas en el territorio nacional (Caballero-García *et al.*, 2019). De acuerdo con Ortega (2003), cada una de esas razas está formada, a su vez, por múltiples poblaciones locales nativas, mantenidas por los agricultores que las siembran y seleccionan ciclo tras ciclo agrícola. Por tal motivo, se ha señalado que los campesinos e indígenas son “los guardianes” de la amplia diversidad del maíz nativo y que tienen un papel fundamental en la conservación y diversificación del mismo (Serratos, 2009).

Esta diversidad se ve amenazada por múltiples factores que contribuyen a la erosión genética (la cual incluye, entre otros aspectos, la pérdida de variedades), entre los cuales figuran la modernización agrícola, la importación de maíz, el uso de harina en vez de grano, la migración, los

desastres naturales, los conflictos sociales (Orozco-Ramírez & Astier, 2017) y el uso de variedades mejoradas (Van de Wouw *et al.*, 2010). Otro factor lo representa la creciente urbanización, pues implica el desplazamiento de la población y la ocupación de zonas agroecológicas, lo cual lleva a la reducción progresiva del suelo agrícola (Martínez & Monroy-Ortiz, 2009) y resulta en el abandono de las poblaciones nativas de maíz en muchas áreas (Guzzon *et al.*, 2021).

El estado de Puebla es una de las entidades que aporta significativamente a la producción nacional de maíz, ocupa el onceavo lugar en producción y en 2021 tuvo una superficie de 497,476.80 ha cosechadas (97 % del total sembrado a nivel estatal), con una producción de 1,151,896.04 t y un rendimiento promedio de 2.32 t·ha⁻¹ (SIAP, 2021). No obstante, de acuerdo con Martínez & Monroy-Ortiz (2009), el estado de Puebla es una de las cuatro entidades donde el crecimiento urbano para el período 1995-2005 alcanzó los 1,200 km² (el promedio para el resto del país fue de 200 km²). Tal crecimiento ocurrió mayormente en detrimento de zonas productivas aledañas a los centros urbanos, particularmente las de agricultura de secano. Es posible que dichas tendencias se mantengan en la actualidad, por lo que es probable que exista un impacto en la diversidad cultivada de maíz en las áreas agrícolas aledañas a las ciudades.

En el estado de Puebla, los trabajos que se han conducido para precisar los niveles de diversidad morfológica y los tipos raciales en maíces nativos se han enfocado a microrregiones importantes en cuanto a producción de maíz, o poco exploradas, tales como el Valle de Puebla (Hortelano *et al.*, 2008), el Altiplano Centro-Oriente (Hortelano *et al.*, 2012), la Sierra Nororiental (Contreras-Molina *et al.*, 2016), el Trópico Húmedo (López-Morales *et al.*, 2014), el Altiplano Poniente (Alvarado-Beltrán *et al.*, 2019) o todo el altiplano (Flores-Pérez *et al.*, 2015). Consecuentemente, al momento, no existen trabajos que hayan considerado estudiar el nivel de diversidad de las poblaciones de maíz aún cultivadas en áreas que se encuentran en un proceso de transición hacia lo urbano. Por ello, el objetivo de la presente investigación fue analizar el nivel de diversidad morfológica actualmente existente entre las poblaciones nativas de maíz cultivadas en un área en proceso de urbanización y su grado de asociación con las razas reportadas para dicha área. El estudio aporta información sobre el nivel de diversidad morfológica presente en una zona con factores que la ponen en riesgo.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el municipio de Coronango (19° 05' 53.88" a 19° 10' 26.76" LN, 98° 15' 32.04" a 98° 19' 24.60" LO y 2,190 msnm), ubicado en el Valle de Puebla (INEGI, 2020). El municipio está integrado por tres juntas auxiliares (San Antonio Mihuacán, San Francisco Ocotlán y San Martín Zoquiapan) y la cabecera municipal (Santa María Coronango). De acuerdo con INEGI (2010) e INEGI (2023), el clima presente en el territorio es templado subhúmedo con lluvias en verano; la temperatura promedio anual es de 14-18 °C y la precipitación pluvial oscila entre 800 y 1000 mm y predominan dos tipos de suelo (Arenosol y Phaeozem). Actualmente las zonas urbanas se encuentran creciendo sobre terrenos previamente dedicados a la agricultura.

Recolecta y material genético

La recolecta de maíces nativos se llevó a cabo entre febrero y abril de 2021 en el municipio de Coronango. El marco muestral quedó constituido por el padrón de agricultores del municipio de Coronango registrados como productores de maíz en el programa Producción para el Bienestar ciclo primavera-verano 2020, conformado por 207 agricultores. Con la información de dicho padrón, se aplicó la técnica de muestreo estratificado aleatorio con distribución de Neyman (Singh & Mangat, 1996), considerando a las juntas y la cabecera como estratos. La precisión se fijó en 10 % respecto a la media y la confiabilidad ($z_{\alpha/2}$) en 95 %. El tamaño de muestra obtenido fue de 63 agricultores, distribuidos de la siguiente forma: Coronango: 4, Mihuacán: 13, Zoquiapan: 14 y Ocotlán: 32. En cada sitio, a partir del padrón de agricultores del municipio, ordenado por juntas auxiliares y cabecera municipal, se escogió al azar el número de agricultores correspondiente al determinado para cada estrato; precisados sus nombres, se les contactó, se les explicó el propósito del estudio y se recolectaron muestras de maíz con quienes accedieron a proporcionarlas.

Producto de la recolecta se obtuvieron 54 muestras de maíz nativo (Tabla 1), las cuales se cultivan bajo condiciones de secano estricto, con fechas de siembra concentradas en el mes de mayo. Todas se incluyeron en la evaluación. Como testigos raciales se utilizaron tres accesiones del banco de germoplasma de CIMMYT, representativas de las razas Chalqueño (CIMMYTMA1398), Cónico (CIMMYTMA10232) y Elotes cónicos (CIMMYTMA1895). Adicionalmente se incluyeron seis materiales experimentales de diferente color de grano y precocidad (tres sintéticos de grano blanco: 'Nopalucan Precoz', 'Nopalucan Ultraprecoz' y 'Serdán' y tres variedades compuestas: LHM Blanco, LHM Amarillo y LHM Azul) y una variedad comercial (Niebla®).

Tabla 1. Maíces nativos recolectados y evaluados en el municipio de Coronango, Puebla, 2021.

Lugar de recolecta	Color de grano					Altitud (m)
	Blanco	Azul	Amarillo	Pinto	Rojo	
Santa María Coronango	4 [†]	2	2	-	-	2187
San Antonio Mihuacán	5	2	-	1	-	2198
San Martín Zoquiapan	8 ^{††}	4	2	-	-	2189
San Francisco Ocotlán	14	6	1	1	2	2190

[†] Incluye una muestra de un material acriollado; se identificó como C003(WN); ^{††}Incluye una muestra de maíz tipo cacahuacintle; se identificó como Z027(C).

Evaluación experimental

Para evaluar los 64 materiales se empleó un látice simple 8×8. La unidad experimental constó de dos surcos de cinco metros de largo y 0.85 m de ancho, con once matas por surco, espaciadas cada 50 cm. La parcela útil fue el total de la unidad experimental. Los experimentos se establecieron en tres localidades del municipio de Coronango: San Francisco Ocotlán (19° 08' 43.0" LN y 98° 16' 20.0" LO), San Martín Zoquiapan (19° 08' 10.0" LN y 98° 18' 17.0" LO) y San Antonio Mihucán (19° 08' 34.0" LN y 98° 18' 29.0" LO) (INEGI, 2020); las siembras se llevaron a cabo los días 19, 21 y 24 del mes de mayo del 2021, respectivamente.

Manejo de los experimentos

Al momento de la siembra se depositaron tres semillas por golpe, y 35 días después se realizó el aclareo a dos plantas por mata. La siembra y el manejo del cultivo se realizaron conforme a las prácticas convencionales de los agricultores de la región, excepto la fertilización, para la cual se utilizó la dosis 110N-60P-00K, aplicada de forma fraccionada: 40N-60P-00K en la primera labor (a los 27 días después de siembra) y el nitrógeno restante en la segunda (a los 40 días después de siembra), empleando como fuentes fosfato diamónico y urea. El control de malezas se realizó con las labores culturales y, posterior a la segunda labor, con la aplicación de 2,4-D amina y atrazina a razón de 1 L·ha⁻¹.

Variables registradas

Las variables días al 50 % de floración masculina (DTT) y femenina (DTS) se cuantificaron a nivel de unidad experimental, como lo describen Rocandio-Rodríguez *et al.* (2014). Concluida la floración, en cada parcela se seleccionaron al azar cinco plantas con competencia completa, en las que se registraron las variables vegetativas descritas en la Tabla 2, conforme lo señalan Hortelano *et al.* (2012). En las cinco plantas mencionadas se colectaron las espigas, para medir los atributos listados, siguiendo lo expuesto por Rocandio-Rodríguez *et al.* (2014). Finalmente, a la cosecha, de cada parcela se tomó una muestra de cinco mazorcas representativas para, en ellas y sus granos, mensurar las características correspondientes, como se explica en la metodología descrita por Hortelano *et al.* (2012). Adicionalmente se calcularon diversos índices, obtenidos como cocientes de varias características contenidas en la Tabla 2.

Tabla 2. Relación de variables medidas e índices calculados en las poblaciones de maíz estudiadas. Coronango, Puebla, 2021.

Tipo de variable	Variable	Abreviatura	Unidad de medida
Fenológica	Días a floración masculina	DTT	días
	Días a floración femenina	DTS	días
Vegetativa	Altura de planta	PLANTH	cm
	Altura de mazorca	EARHT	cm
	Hojas totales	TOTLEAV	número
	Hojas arriba de la mazorca	LEAVA	número
	Hojas debajo de la de mazorca	LEAVB	número
	Longitud de la hoja de la mazorca	LEAFLT	cm
	Ancho de la hoja de la mazorca	LEAFWD	cm
	Área foliar [†]	LAREA	cm ²
	Índice (EARHT / PLANTH)	IHEIGHT	adimensional
	Índice (LEAVA / LEAVB)	ILEAVES	adimensional
Espiga	Longitud del pedúnculo	PEDLT	cm
	Longitud de la parte ramificada	LTBRS	cm
	Longitud de la rama central	LCENB	cm
	Longitud total de la espiga	TTSLT	cm
	Longitud de la parte lateral basal	LBLS	cm
	Ramificaciones primarias	PRIMB	número
	Ramificaciones secundarias	SECB	número
	Índice (LTBRS / TTSL)	ILTBTS	adimensional
	Índice (LCENB / TTSL)	ILCBTS	adimensional
	Índice (PEDL / TTSL)	ILPEDTS	adimensional
Mazorca	Índice (TTSL / PLANTH)	ITSLPHT	adimensional
	Longitud de mazorca	EARLT	cm
	Diámetro de la mazorca	EARDM	mm
	Número de hileras	ROWNO	número
	Granos por hileras	KRROW	número
Grano	Índice (EARLT / EARDM)	IEAR	adimensional
	Longitud de grano	KRLT	mm
	Ancho de grano	KRWD	mm
	Grosor de grano	KRTK	mm
	Volumen de grano ^{††}	KRVOL	mm ³
	Peso hectolítrico	HECWT	kg hL ⁻¹
	Índice (KRLT / KRWD)	IGRAIN	adimensional
	Índice (KRWD / KRLT)	IWDLT	adimensional
Índice (KRTK / KRLT)	ITKLT	adimensional	
Índice (KRTK / KRWD)	ITKWD	adimensional	

[†]Área foliar = LEAFLT×LEAFWD×0.75; ^{††}Volumen de grano= KRLT×KRWD×KRTK.

Análisis estadístico

Se practicó un análisis de varianza combinado para las 37 variables registradas y posteriormente se realizó un análisis de correlación de Pearson para identificar pares de variables correlacionadas ($r \geq |0.7|$), de las cuales, para el posterior análisis multivariado, se escogió la que se consideró más informativa. Con los promedios por población para las 27 variables resultantes, se practicó un análisis de conglomerados a partir de una matriz de distancias de Gower, empleando como método de agrupamiento el de Varianza Mínima de Ward. En el dendrograma resultante, empleando el criterio de la pseudo F, se identificaron cuatro grupos, para los cuales se practicó un análisis de varianza multivariado, seguido por un análisis de varianza por grupos (considerando a los materiales incluidos como repeticiones) y una prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Finalmente, también se efectuó un análisis de componentes principales, a partir del cual se generó un gráfico de distribución de los materiales con base en los valores de los tres primeros componentes principales, incluyendo los grupos identificados en el dendrograma. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS OnDemand for Academics® (SAS Institute Inc., 2012-2020).

Resultados

La recolecta quedó integrada por 54 poblaciones nativas, 31 de grano blanco (incluyó una de maíz tipo cacahuacintle), 14 de azul, cinco de amarillo, dos de rojo y dos de pinto. De las localidades de muestreo, fue en Ocotlán donde se encontraron muestras de todos los grupos de coloración.

El análisis de varianza (Tabla 3) reveló que entre ambientes hubo diferencias estadísticas en 32 de las 37 variables estudiadas, indicando con ello que el nivel de expresión de la gran mayoría de las variables dependió de la localidad de evaluación. La localidad donde estadísticamente se alcanzaron los valores más altos para atributos como altura de mazorca y planta (258.1 y 149.8 cm, respectivamente), ancho de la hoja de la mazorca (9.3 cm), número de ramas secundarias de la espiga (1.46), así como longitud y diámetro de mazorca (15.1 cm y 48.3 mm, respectivamente), número de hileras y granos por hilera (15.4 y 31.2, respectivamente) y largo y ancho de grano (14.9 y 8.0 mm, respectivamente) fue Zoquiapan. Le siguieron Mihuacán (con altura de planta, ancho de la hoja de la mazorca, diámetro de mazorca y número de hileras estadísticamente iguales a los de Zoquiapan) y finalmente Ocotlán.

Entre materiales hubo diferencias altamente significativas en todas las características, situación que evidencia que, entre las poblaciones nativas y los testigos, aún persisten niveles de diversidad importantes en todos los caracteres e índices estudiados. La interacción materiales \times ambientes resultó no significativa para el 97 % de las variables, lo cual es indicativo de que el comportamiento de los maíces estudiados, en cuanto al nivel de expresión de la mayoría de sus atributos, permaneció estable ante la variación en ambientes.

Tabla 3. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de 37 variables de poblaciones nativas de maíz, testigos raciales, variedades experimentales y una comercial evaluadas en el municipio de Coronango, Puebla, 2021.

Variables	Cuadrados medios				
	Ambientes	Materiales	Materiales×Ambientes	Error	CV (%)
DTT (días)	231.0729**	76.5479**	4.6301ns	5.4078	2.77
DTS (días)	330.5104**	82.3001**	8.2075ns	9.2051	3.39
PLANTH (cm)	2283.5357**	1648.2034**	231.9838ns	247.4623	6.17
EARHT (cm)	2271.4551**	1071.4993**	167.2042ns	179.0688	9.22
TOTLEAV (Núm.)	28.0219**	2.3277**	0.3048ns	0.2516	3.91
LEAVA (Núm.)	0.8232**	0.8235**	0.0920ns	0.0769	5.68
LEAVB (Núm.)	19.4944**	1.2048**	0.2194ns	0.1683	5.16
LEAFLT (cm)	2012.7661**	170.2030**	28.0998ns	27.6463	6.30
LEAFWD (cm)	13.4516**	2.3407**	0.9822ns	0.9440	10.66
LAREA (cm ²)	2.63x10 ⁵ **	2.62x10 ⁴ **	5.86x10 ³ ns	5.24x10 ³	12.64
IHEIGHT	0.0121**	0.0048**	0.0010ns	0.0010	5.81
ILEAVES	0.0090**	0.0026**	0.0004ns	0.0003	4.79
PEDLT (cm)	123.5164**	11.7498**	5.8245ns	4.8536	7.40
LTBRS (cm)	10.4447**	6.5270**	2.5131ns	2.0931	17.25
LCENB (cm)	365.1503**	23.3128**	8.0770ns	7.6653	8.30
TTSLT (cm)	428.4658**	32.8915**	8.4053ns	8.8540	7.13
LBLS (cm)	569.5034**	24.7095**	11.4092ns	13.6228	15.64
PRIMB (Núm.)	43.2571**	9.2987**	5.4380ns	4.1409	31.52
SECB (Núm.)	5.3221**	0.6795*	0.4498ns	0.4438	52.83
ILTBTS	0.0082**	0.0028**	0.0013ns	0.0010	16.19
ILCBTS	0.0080**	0.0029**	0.0014ns	0.0010	4.09
ILPEDTS	0.0154*	0.0131**	0.0053ns	0.0043	9.17
ITSLPHT	0.0041**	0.0003**	0.0002ns	0.0002	8.73
EARLT (cm)	12.7784**	5.4765**	0.7387ns	0.6763	5.66
EARDM (cm)	145.7456**	37.2044**	4.6781ns	4.8240	4.63
ROWNO (Núm.)	3.0363*	7.7469**	1.0049ns	0.9028	6.22
KRROW (Núm.)	45.3528**	30.6330**	5.5470ns	5.3703	7.65
IEAR	0.0032**	0.0015**	0.0004ns	0.0004	6.51
KRLT (mm)	5.6537**	4.4132**	0.6346ns	0.4842	4.76
KRWD (mm)	0.4573*	1.0620**	0.0980ns	0.1129	4.24
KRTK (mm)	0.0175ns	0.1509**	0.0376ns	0.0578	5.88
KRVOL (mm ³)	1.66x10 ⁴ **	1.36x10 ⁴ **	1.60x10 ³ ns	1.71x10 ³	8.73
HECWT (kg hL ⁻¹)	0.4579ns	37.8905**	6.6597**	4.3825	2.96
IGRAIN	0.0304*	0.0875**	0.0123ns	0.0096	5.32
IWDLT	0.0029ns	0.0091**	0.0011ns	0.0010	5.86
ITKLT	0.0013ns	0.0043**	0.0005ns	0.0006	8.99
ITKWD	0.0007ns	0.0040**	0.0009ns	0.0010	6.38

*: $P \leq 0.05$, **: $P \leq 0.01$, ns: no significativo, CV= Coeficiente de variación. Grados de libertad: ambientes: 2; materiales: 63; interacción: 126; error: 147 (125 en variables relacionadas con mazorca y grano). Las abreviaturas se describen en la Tabla 2.

En el dendrograma, a una distancia de corte de 0.11 unidades, se identificaron cuatro grupos (Figura 1). El primero (Grupo IA) quedó formado únicamente por los testigos raciales tipo Cónico (Elotes Cónicos y Cónico), sugiriendo escasa relación con las poblaciones estudiadas. La inspección de los grupos restantes evidenció que la localidad de procedencia no resultó ser un criterio de agrupamiento importante, pero sí el color de grano. Así, el Grupo IB quedó integrado por 16 materiales: 12 poblaciones nativas, todas de grano pigmentado (ocho de grano azul, dos de amarillo y dos de rojo) y cuatro de las seis variedades experimentales ('Nopalucan Precoz' y 'Nopalucan Ultraprecoz', ambos de grano blanco y las variedades compuestas LHM Amarillo y Azul). El grupo IIA incluyó a siete materiales, de los cuales, seis fueron de grano blanco y el resto de grano amarillo. Entre los materiales de grano blanco quedaron contenidos el testigo comercial Niebla® y una población acriollada derivada de este híbrido registrada como C003(WN). Finalmente, el grupo IIB fue el más numeroso, pues quedó constituido por 39 materiales. En él predominaron los maíces de grano blanco (25 poblaciones), a los que le siguieron los azules (6 poblaciones), amarillos (2), pintos (2) y un material tipo cacahuacintle registrado como Z027(C). En este grupo se ubicaron los materiales experimentales 'Serdán' y LHM Blanco, así como el testigo racial Chalqueño, sugiriendo un mayor parecido de las poblaciones contenidas en este grupo (las cuales representaron el 67 % del total) con esta raza.

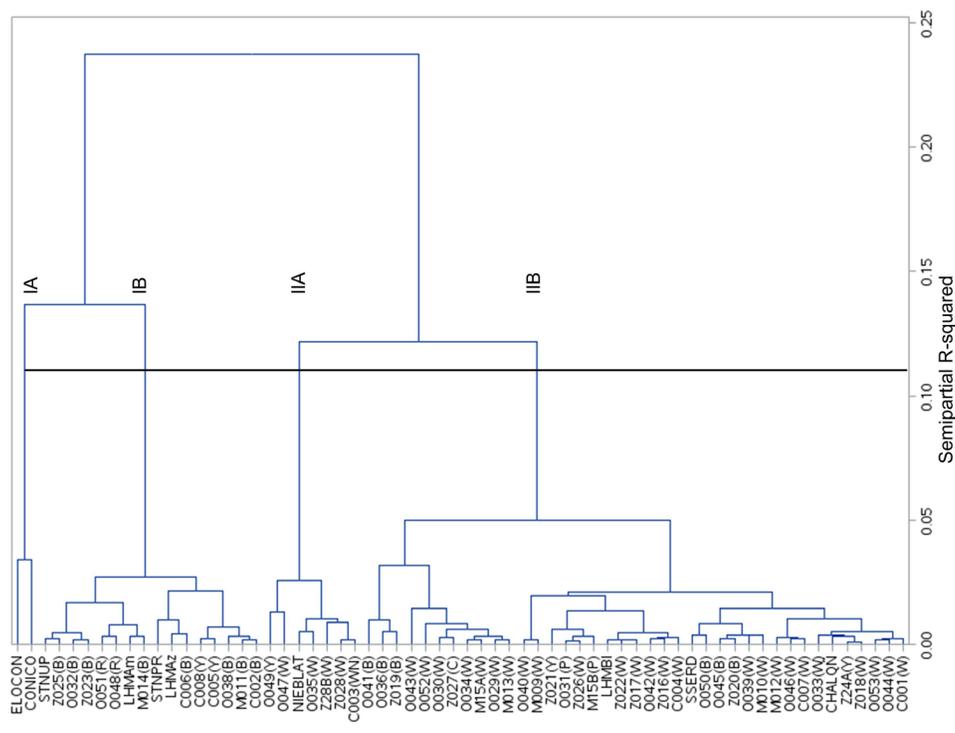


Figura 1. Dendrograma obtenido con el método de Ward para 54 poblaciones nativas de maíz, tres testigos raciales, seis variedades experimentales y un testigo comercial evaluados en el municipio de Coronango, Puebla, 2021.

En las poblaciones nativas, la primera letra corresponde al lugar de recolecta (C: Coronango, M: Mihuacán, O: Ocotlán, Z: Zoquiapan), las posiciones siguientes al número de accesión y, entre paréntesis, el color de grano (Y: Amarillo; W: Blanco; P: Pinto; R: Rojo; B: Azul).

Los estadísticos asociados al análisis de varianza multivariado empleado para comparar las medias de los grupos identificados tuvieron un valor de probabilidad < 0.0001 (Tabla 4), evidenciando con ello que se rechazó la hipótesis nula y que, por tanto, al menos un vector de medias de grupo resultó estadísticamente diferente al resto.

Tabla 4. Criterios de prueba y aproximaciones de F del análisis de varianza multivariado empleado para comparar los cuatro grupos de maíces identificados en el análisis de conglomerados.

Estadístico	Valor	Valor F	Grados de libertad en el modelo	Grados de libertad en los errores del modelo	Pr > F
Lambda de Wilk	0.0100	5.71	108	133.57	< 0.0001
Traza de Pillai	3.1204	4.73	108	144.00	< 0.0001
Traza de Hotelling-Lawley	24.2047	7.09	108	96.63	< 0.0001
Raíz máxima de Roy	14.6732	19.56	27	36.00	< 0.0001

La revisión de las medias de los grupos identificados en el dendrograma (Tabla 5) mostró que el más contrastante respecto a los demás fue el Grupo IA, el cual incluyó a los dos testigos raciales tipo Cónico. Sus plantas fueron las de menor altura (no obstante, sus mazorcas se insertaron a mayor altura que en los demás grupos) y tuvieron el menor número de hojas totales y arriba de la mazorca (coincidiendo en ello con el Grupo IB). El área foliar de la hoja de la mazorca fue la menor de todos los grupos. Sus espigas tuvieron las menores longitudes y la menor cantidad de ramas primarias. Además, en comparación con los otros grupos, la longitud de la parte ramificada (índice ILTBTS) y de la rama central (índice ILCBTS) representaron, respectivamente, la menor y la mayor proporción de la longitud total de la espiga. Sus mazorcas fueron las más cortas y angostas, con el menor número de hileras y granos por hilera y sus granos presentaron el menor volumen y peso hectolítrico. Además, varios índices que relacionaron las dimensiones de grano tuvieron los menores valores. En general, el grupo incluyó materiales con plantas de dimensiones reducidas, que contrastaron de forma notable con el resto de los materiales bajo estudio.

El grupo IB fue el más precoz de todos. Con respecto a los otros dos grupos que contuvieron poblaciones nativas (grupos IIA y IIB), éste fue el que tuvo las plantas de menor altura, con menos hojas totales y arriba de la mazorca y menor área foliar de la hoja de la mazorca. Presentó las espigas con menor longitud total y de la parte lateral basal y la mayor relación ILPEDTS (longitud del pedúnculo/longitud total de la espiga). Sus mazorcas fueron más cortas, con menos granos

por hilera, y más anchas que largas (IEAR = 0.30). Su peso hectolítrico fue el menor entre los grupos con poblaciones nativas (Tabla 5).

En comparación con todos los grupos, el grupo IIA se caracterizó por tener el mayor número de hojas arriba de la mazorca e índice foliar y porque sus mazorcas se insertaron a menor altura. A diferencia de las plantas de los grupos IB y IIB (que también incluyeron poblaciones nativas), sus espigas tuvieron el menor número de ramas primarias y secundarias pero, con respecto a la altura total de la planta, sus espigas representaron la mayor proporción de todos los grupos (índice ITSLPHT). Sus mazorcas fueron más largas que anchas (IEAR = 0.33) y sus granos tuvieron una relación longitud/ancho baja, pero presentaron los mayores cocientes para las relaciones ancho/longitud y grosor/longitud, sugiriendo granos más anchos y gruesos que largos. Fue el grupo con el mayor peso hectolítrico (Tabla 5).

Finalmente, el grupo IIB se distinguió del resto principalmente por los atributos de espiga: presentó la mayor longitud de la parte lateral basal de la espiga, el mayor número de ramas secundarias y uno de los mayores de ramas primarias. El índice que relacionó la longitud total de la espiga con la altura total de la planta (ITSLPHT) fue el menor de todos los cuantificados (Tabla 5).

Los grupos IIA y IIB fueron muy similares en cuanto a precocidad, altura de planta, número de hojas totales, área foliar de la hoja de la mazorca, longitud del pedúnculo y total de la espiga, y en los índices ILTBTS, ILCTBS e ILPEDTS (los cuales relacionaron longitud de la parte ramificada, de la rama central y del pedúnculo con la longitud total de espiga, respectivamente), así como en longitud y diámetro de mazorca, número de hileras, granos por hilera, volumen de grano y la relación grosor/ancho de grano.

El análisis de componentes principales mostró que con los tres primeros componentes se explicó el 66.47 % de la variación total presente entre los materiales. El componente principal (CP) 1 tendió a asociarse con el área foliar (LAREA, vector propio = 0.30), en tanto que el CP2 lo hizo con el número de hojas arriba de la mazorca (LEAVA, 0.32), índice foliar (ILEAVES, 0.34), relación ancho/longitud de grano (IWDLT, 0.31) y relación longitud/ancho de grano (IGRAIN, -0.30). Finalmente, el CP3 se relacionó con número de hileras (ROWNO, 0.37), las relaciones longitud de la rama central (ILCBTS, 0.36) y de la parte ramificada (ILTBTS, -0.38) con respecto a la longitud total de la espiga y el número de ramas primarias de la espiga (PRIMB, -0.35).

Al representar en la Figura 2 los grupos identificados en el dendrograma, se confirma la poca relación de los testigos raciales tipo Cónico con las poblaciones nativas estudiadas y la mayor asociación de éstas con el testigo racial Chalqueño. También se observa que los grupos IA y IB presentaron menores valores de área foliar que los IIA y IIB, y que considerando el CP2, el grupo IIA fue el que tuvo mayores valores de hojas arriba de la mazorca (LEAVA), de la proporción de éstas con respecto al total de hojas (ILEAVES) y de la relación ancho/longitud de grano (IWDLT), pero menor magnitud de la relación longitud/ancho de grano (IGRAIN). Finalmente, se nota que al interior de cada grupo (y en conjunto) existió una variación importante en el número de hileras (ROWNO), de ramas primarias (PRIMB) y en la magnitud de dos índices que relacionan medidas de longitud de la espiga (ILCBTS, ILTBTS).

Tabla 5. Prueba de medias para cuatro grupos de maíces y 27 variables evaluadas en Coronango, Puebla, 2021.

Variable	Grupo				DMSH
	IA	IB	IIA	IIB	
DTT (días)	90.92a	85.03b	91.86a	90.71a	4.25
PLANTH (cm)	194.00c	240.60b	248.37ab	246.76a	19.50
TOTLEAV (Núm.)	11.74b	12.12b	13.30a	13.08a	0.71
LEAVA (Núm.)	4.30c	4.57bc	5.60a	4.91b	0.37
LAREA (cm ²)	355.93c	506.79b	612.29a	604.37a	62.86
ILEAVES	0.37b	0.38b	0.42a	0.38b	0.02
IHEIGHT	0.60a	0.56b	0.52c	0.58ab	0.03
PEDLT (cm)	25.71b	30.08a	28.54a	30.07a	2.08
TTSLT (cm)	33.59c	39.31b	43.50a	42.81a	2.25
LBLS (cm)	18.95c	21.73b	24.28ab	24.46a	2.59
PRIMB (Núm.)	4.13b	6.31a	5.64ab	6.78a	1.97
SECB (Núm.)	1.18ab	1.21ab	0.79b	1.37a	0.45
ILTBTS	0.14b	0.20a	0.18a	0.21a	0.03
ILCBTS	0.86a	0.80b	0.81b	0.80b	0.03
ILPEDTS	0.78a	0.77a	0.66b	0.71b	0.06
ITSLPHT	0.18ab	0.16bc	0.18a	0.16c	0.01
EARLT (cm)	10.47c	13.62b	15.64a	14.84a	0.89
EARDM (mm)	34.86b	45.84a	47.67a	48.54a	3.22
ROWNO (Núm.)	13.51b	14.68ab	15.77a	15.52a	1.92
KRROW (Núm.)	19.73c	28.50b	31.70a	31.24a	2.34
IEAR	0.30b	0.30b	0.33a	0.31ab	0.03
KRVOL (mm ³)	331.01b	477.54a	451.21a	482.70a	76.19
IGRAIN	1.61b	1.85a	1.63b	1.90a	0.17
IWDLT	0.64a	0.55b	0.62a	0.53b	0.05
ITKLT	0.41a	0.28c	0.32b	0.27c	0.03
ITKWD	0.64a	0.52b	0.53b	0.51b	0.04
HECWT (kg hL ⁻¹)	61.44c	68.87b	73.72a	71.02ab	3.73

DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta. Medias con letras iguales en el sentido de las hileras no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

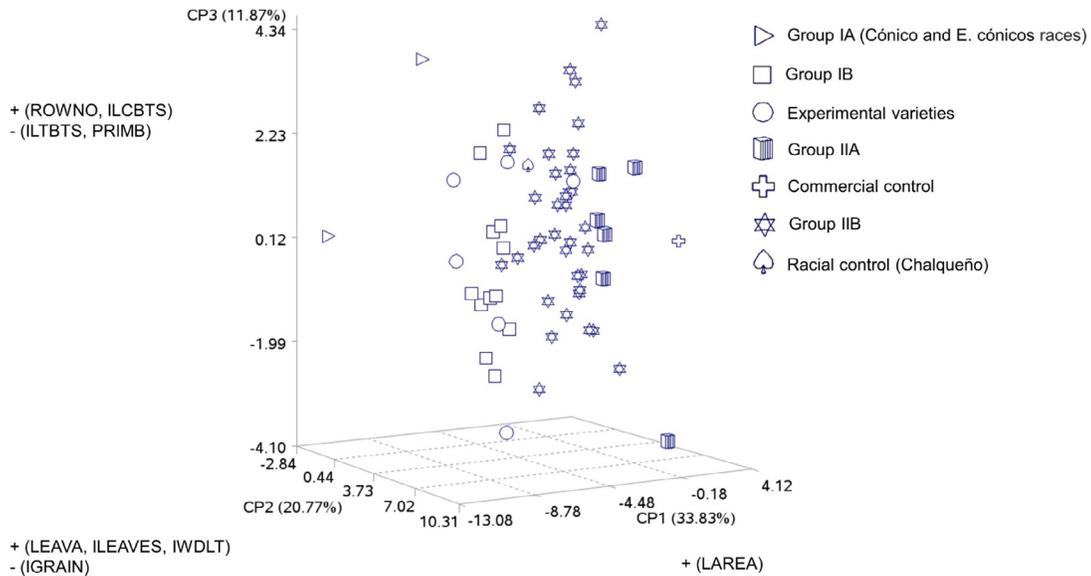


Figura 2. Dispersión de 54 maíces nativos, tres testigos raciales, seis variedades experimentales (tres sintéticos y tres variedades compuestas) y un testigo comercial, con base en los tres componentes principales de 27 variables evaluadas en Coronango, Puebla, 2021.

Discusión

Aun cuando el municipio de Coronango es pequeño (tiene una extensión de 3,655 ha, de las cuales, poco más de 2,000 ha se dedican a la agricultura (CEIGEP, 2022; SIAP, 2021) y presenta un solo tipo climático, hubo diferencias entre ambientes en cuanto al nivel de expresión de las variables medidas, siendo Zoquiapan el más favorable, seguido por Mihucán y Ocotlán. Esta variación se debió a que en las dos primeras localidades la precipitación acumulada durante el ciclo de cultivo superó el promedio anual del municipio, lo cual pudo haber beneficiado a las plantas al no existir restricciones severas en humedad. Por otra parte, Ocotlán fue un sitio que, además de tener menor precipitación, fue afectado de forma importante por vientos que ocurrieron durante la etapa de floración, que acamaron las plantas, situación que se ha documentado afecta el desarrollo del maíz (Wang *et al.*, 2022). La inexistente interacción materiales×ambientes evidencia que el ordenamiento o jerarquización de los materiales se mantuvo al pasar de un ambiente a otro, lo cual implica que la respuesta diferencial de un material, comparado con otro, fue la misma, independientemente del ambiente considerado (Cubero & Flores, 1995), aspecto altamente recomendable en estudios de caracterización (Sánchez *et al.*, 1993).

Con base en el objetivo de esta investigación, los principales hallazgos fueron los siguientes: a) En un área rural en proceso de urbanización aún persisten niveles importantes de diversidad morfológica entre los maíces cultivados; b) Los maíces nativos del área de estudio muestran mayor similitud morfológica con la raza Chalqueño.

En un área rural en proceso de urbanización aún persisten niveles importantes de diversidad morfológica entre los maíces cultivados.

El patrón de coloración de grano encontrado en el municipio de Coronango revela que se mantienen los tipos reportados hace 50 años por Cervantes & Mejía (1984) para el Valle de Puebla: blanco, azul, amarillo, pinto y rojo, con la prevalencia de las poblaciones de grano blanco (70.4 % en humedad residual y 48.1 % en seco; 55.6 % actualmente) y la persistencia de las de grano pigmentado, aunque con un porcentaje mayor de las de grano azul en la actualidad (5.5 % en humedad residual y 12.4 % en temporal en la recolecta de los años 1970-1971; 25.9 % en el presente estudio). Esta última situación podría atribuirse a una estrategia que han generado las unidades de producción cercanas a áreas urbanas, consistente en transformar el grano de color azul en tortilla para su venta (Lerner & Appendini, 2011).

Aun cuando el estudio se desarrolló en un espacio geográficamente pequeño (comparado con estudios más extensos conducidos en el altiplano poblano, como los de Hortelano *et al.*, 2008; Hortelano *et al.*, 2012 y Alvarado-Beltrán *et al.*, 2019), el cual también se encuentra en un proceso de absorción por el entorno urbano (Guevara, 2017), aún se detectaron niveles de variación morfológica importantes entre las poblaciones nativas. Evidencia de esto último es que se logró precisar la existencia de tres grandes grupos, los cuales se diferenciaron entre sí particularmente por coloración de grano, precocidad y características relacionadas con diversas estructuras de la planta (hojas, espiga, mazorca y grano). La importancia del color de grano y la precocidad como atributos de agrupamiento de las poblaciones nativas fue documentada por Muñoz (2013), quien explicó que al interior de las microrregiones donde se cultivan maíces nativos, los agricultores han estructurado patrones varietales (entendidos estos como los sistemas que conjuntan los grupos de poblaciones, los estratos o niveles ambientales y las relaciones entre ellos), cuyos componentes se definen precisamente en función de la coloración del grano y la precocidad. Es común que los componentes del patrón varietal en maíz queden representados por un conjunto de materiales de grano blanco (ciclo tardío) y otros de grano pigmentado (ciclo precoz), como lo señalan López *et al.* (2020). La relevancia de variables vegetativas, de espiga, mazorca y grano (como área foliar, número de hojas arriba de la mazorca, índice foliar, relaciones ancho/longitud y longitud/ancho de grano, número de hileras de la mazorca y de ramas primarias de la espiga, que fueron las que contribuyeron más a la explicación de la variación encontrada) para la distinción de los grupos ha quedado demostrada en otros trabajos de caracterización como los de López-Romero *et al.* (2005), Vidal-Martínez *et al.* (2018) y Linares-Holguín *et al.* (2019), entre otros.

Al igual que en los trabajos de Hortelano *et al.* (2008) y Hortelano *et al.* (2012) en microrregiones del altiplano central poblano, en esta investigación los grupos de poblaciones nativas también se diferenciaron, en primera instancia, por coloración de grano y después, por características de planta. En coincidencia con tales investigaciones, también se encontró que las plantas de las poblaciones de grano pigmentado tendieron a presentar valores menores en

variables fenológicas, vegetativas, de mazorca y grano que las de grano blanco. Estos elementos sugieren que la estructura de la diversidad de los maíces nativos cultivados en seco, en el área de estudio corresponde, en términos generales, a la identificada en áreas más amplias del altiplano central de Puebla, donde el maíz se cultiva bajo humedad residual.

Los resultados evidencian que los agricultores del área de estudio cuentan con dos grandes grupos de maíces, los pigmentados (Grupo IB) y los de grano blanco, este último subdividido a su vez en dos conjuntos, uno, integrado por poblaciones nativas (el más numeroso, Grupo IIB) y otro (Grupo IIA) que, por sus características, muestra afinidad con variedades mejoradas e incluye un material acriollado. En el caso de poblaciones nativas, la importancia de que el agricultor disponga de los dos grupos de coloración mencionados estriba en que, como lo plantean Muñoz (2003), Castillo-Nonato (2016) y López *et al.* (2020), le permite, por un lado, enfrentar la variabilidad en condiciones ambientales, manejando los distintos niveles de precocidad que van asociados al color del grano (blanco, ciclo tardío y pigmentados, ciclo precoz) y por otro, satisfacer diversos aspectos culturales. La presencia de materiales acriollados refleja otra estrategia seguida por los agricultores para diversificar su gama de opciones productivas, pues resulta en poblaciones que conjuntan características deseables de las variedades mejoradas con las de las poblaciones nativas (Bellon & Risopoulou, 2001).

Los maíces nativos del área de estudio muestran mayor similitud morfológica con la raza Chalqueño.

De acuerdo con Sierra-Macías *et al.* (2016), las principales razas de maíz presentes en los Valles Altos de Puebla (altitudes mayores a 2000 m) son Cónico, Elotes Cónicos, Chalqueño, Arrocillo amarillo y Cacahuacintle, todas ellas pertenecientes al grupo Cónico. Con base en la recolecta hecha entre los años 1970 y 1971 en el Valle de Puebla (región en la cual queda contenida el área de estudio), Cervantes & Mejía (1984) reportaron que las razas predominantes en ese momento eran Cónico y Chalqueño. Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que en el área explorada, las poblaciones de maíz estudiadas guardan escasa relación con los testigos raciales Cónico y Elotes Cónicos (los cuales formaron un grupo morfológicamente independiente) y que la mayor afinidad (particularmente en el caso de las de grano blanco y algunas pigmentadas) se presentó con el testigo racial Chalqueño sugiriendo, por tanto, que una fracción considerable de los maíces que actualmente se cultivan en el área corresponden a la raza anteriormente mencionada. Esta afinidad también quedó corroborada al comparar los niveles de expresión de diversos caracteres morfológicos registrados en este trabajo con los reportados por Wellhausen *et al.* (1951) para las razas Chalqueño y Cónico; el mayor parecido se registró con la primera.

La mayor asociación de las poblaciones nativas del altiplano central de Puebla (particularmente de las de grano blanco) con la raza Chalqueño y la menor relación con la raza Cónico es una situación previamente reportada por Hortelano *et al.* (2008), Hortelano *et al.* (2012) y Alvarado-Beltrán *et al.* (2019) quienes, entre otras razones de ello, proponen el flujo génico, la recombinación entre poblaciones, la selección impuesta por los agricultores y la mayor capacidad productiva de los materiales tipo Chalqueño. En este trabajo, al igual que en los antes mencionados, se encontró que una parte de los maíces pigmentados no se agrupó con las razas Cónico o Elotes Cónicos, pero

tampoco guardó una relación estrecha con Chalqueño. Ello puede deberse a que forman parte del continuo de variación existente en la región (Cervantes & Mejía, 1984; Hortelano *et al.*, 2008) o a que en ellos se está dando un proceso de diferenciación morfológica que los aparta de las accesiones representativas de tales razas (Hortelano *et al.*, 2012). Otro factor puede ser el reportado por Herrera *et al.* (2004) quien precisa que Chalqueño es una raza que muestra diferentes grados de variación y en la que, entre otros grupos, quedan incluidos los que denominaron Chalqueño-Cónico (con características intermedias entre ambas razas) y Elotes Chalqueños-Chalqueño, integrado a su vez por tres subgrupos: Chalqueño Cremoso, Chalqueño Palomo y Elotes Chalqueños (de grano azul y endospermo harinoso). Es probable que esas poblaciones que no se agruparon pertenezcan a alguno de estos conjuntos. Finalmente, es posible que, en el caso de los materiales acriollados, exhiban características ya no tan típicas de las razas reportadas como prevalecientes en la región.

De acuerdo con Guzzon *et al.* (2021), las razones que llevan al abandono de las poblaciones nativas de maíz (y, por tanto, a la pérdida de diversidad), son complejas, e incluyen factores agronómicos, ecológicos, económicos y sociales, y dentro de estos últimos citan la creciente urbanización. Ello hacía suponer que, en el área estudiada, la cual se encuentra bajo fuertes presiones por el crecimiento urbano (Hernández, 2019), la diversidad existente sería mínima. Los resultados evidencian que ello no fue así, pues se detectó variación morfológica importante, comparable a la existente en la década de los setenta del siglo pasado (salvo en lo que respecta a razas, donde no se encontraron muestras correspondientes a la raza Cónico). Ello implica que, a pesar de las presiones que enfrentan, los agricultores que quedan han procurado mantener la diversidad cultivada, situación que concuerda con lo reportado por Orozco-Ramírez & Astier (2017) en la Región del Lago de Pátzcuaro y por Lerner & Appendini (2011) en el Valle Toluca-Atzacmulco. No obstante lo anterior, es conveniente valorar la pertinencia de emprender acciones tendientes a conservar la diversidad aún existente.

Conclusiones

En el área de estudio, la cual se caracteriza por las presiones que enfrentan los espacios rurales en proceso de urbanización, aún existe un nivel importante de diversidad morfológica entre los maíces ahí cultivados, reflejado en la existencia de grupos bien definidos que se distinguen por coloración de grano, precocidad y atributos de planta y mazorca. Por sus características, estos maíces, particularmente los de grano blanco, se asocian con la raza Chalqueño.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, PTF, AGM, PAL, SESG; desarrollo de la metodología, PTF, AGM, PAL, SESG; manejo de software, PTF, PAL; validación experimental, AGM, PAL; análisis de resultados, PTF, AGM, PAL; manejo de datos, PTF, AGM; escritura y preparación del manuscrito, PTF, AGM; redacción, revisión y edición, PTF, AGM, PAL, SESG; administrador de proyectos, PTF, AGM; adquisición de fondos, PTF, AGM.

Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada por el Colegio de Postgraduados a través del Apoyo a Actividades Académicas y de Estudiantes y con fondos propios.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de postgrado otorgada a la primera autora. A los productores de maíz del municipio de Coronango, Puebla, por la disposición a participar y por las muestras de semilla de maíz proporcionadas, a Sarahi Nocelo Rojas, José Hernández Cortés, Hugo García Perea, Rocío Meza Varela y Uriel Hernández Flores, por su apoyo en el establecimiento y manejo agronómico de los experimentos.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Alvarado-Beltrán, G., López-Sánchez, H., Santacruz-Varela, A., Muñoz-Orozco, A., Valadez-Moctezuma, E., Gutiérrez-Espinosa, Ma. A., López, P. A., Gil-Muñoz, A., Guerrero-Rodríguez, J. de D., & Taboada-Gaytán, O. R. (2019). Morphological variability of native maize (*Zea mays* L.) of the west highland of Puebla and east highland of Tlaxcala, Mexico. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 51(2), 217-234. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCFA/article/view/2691>
- Bellon, M. R., & Risopoulous, J. (2001). Small-scale farmers expand the benefits of improved maize germplasm: A case study from Chiapas, Mexico. *World Development*, 29(5), 799-811. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(01\)00013-4](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(01)00013-4)
- Caballero-García, M. A., Córdova-Téllez, L., & López-Herrera, A. de J. (2019). Validación empírica de la teoría multicéntrica del origen y diversidad del maíz en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(4), 357-366. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/42-4/4a.pdf>
- Castillo-Nonato, J. (2016). Conservación de la diversidad del maíz en dos comunidades de San Felipe del Progreso, Estado de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 13(2), 217-235. <https://doi.org/10.22231/asyd.v13i2.327>
- Cervantes S., T., & Mejía A., H. (1984). Maíces nativos del área del Plan Puebla: recolección de plasma germinal y evaluación del grupo tardío. *Revista Chapingo*, 43-44, 64-71.
- Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica del Estado de Puebla (CEIGEP). (2022, Septiembre 14). Fichas municipales. http://www.ceigep.puebla.gob.mx/informacion_basica_municipio.php
- Contreras-Molina, O., Gil-Muñoz, A., López, P. A., Reyes-López, D., & Guerrero-Rodríguez, J. de D. (2016). Caracterización morfológica de maíces nativos de la Sierra Nororiental de Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 17, 3633-3647. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263149506019>

- Cubero, J. I., & Flores, F. (1995) Métodos estadísticos para el estudio de la estabilidad varietal en ensayos agrícolas. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca.
- Flores-Pérez, L., López, P. A., Gil-Muñoz, A., Santacruz-Varela, A., & Chávez-Servia, J. L. (2015). Variación intra-racial de maíces nativos del altiplano de Puebla, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 47(1), 1-17. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCa/article/view/3266>
- Guevara R., M. L. (2017). Impacto del crecimiento urbano en zonas agrícolas: Reserva Territorial Atlixcáyotl, Puebla. Estoa, *Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 6(11), 53-68. <https://doi.org/10.18537/est.v006.n011.a04>
- Guzzon, F., Arandia R., L. W., Caviedes C., G. M., Céspedes P., M., Chavez C., A., Muriel F., J., Medina H., A. E., Jara C., T. W., Molnar, T. L., Narro L., L. A., Narro L., T. P., Mejía K., S. L., Ospina R., J. G., Vázquez, G., Preciado-Ortiz, R. E., Zambrano, J. L., Palacios R., N., & Pixley, K. V. (2021). Conservation and use of Latin American maize diversity: Pillar of nutrition security and cultural heritage of humanity. *Agronomy*, 11(1), 172. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010172>
- Hernández F., J. (2019). Ruralidad y Procesos Urbanos en México. In: J. Sobrino & V. Ugalde (Eds.). *Desarrollo Urbano y Metropolitano en México*. (pp.119-170). El Colegio de México. https://www.researchgate.net/publication/333828028_Ruralidad_y_procesos_urbanos_en_Mexico
- Herrera-Cabrera, B. E., Castillo-González, F., Sánchez-González, J. J., Hernández-Casillas, J. M., Ortega-Paczka, R. A., & Major-Godman, M. (2004). Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia*, 38(2), 191-206. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30238207.pdf>
- Hortelano S. R., R., Gil M., A., Santacruz V., A., López S., H., López, P. A., & 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. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/35-2/1a.pdf>
- Hortelano S. R., R., Gil M., A., Santacruz V., A., Miranda C., S., & Córdova T., L. (2008). Diversidad morfológica de maíces nativos del Valle de Puebla. *Agricultura Técnica en México*, 34 (2), 189-200. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60834206>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023, Marzo 14). Espacio y datos de México. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx?ag=21034#>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020, Agosto 12). Áreas geográficas, México en cifras. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=21#collapse-Resumen>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010. Coronango, Puebla. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21034.pdf
- Lerner, A. M., & Appendini, K. (2011). Dimensions of peri-urban maize production in the Toluca-Atlacomulco Valley, Mexico. *Journal of Latin American Geography*, 10(2), 87-106. <http://www.jstor.org/stable/23209586>
- Linares-Holguín, O. O., Rocandio-Rodríguez, M., Santacruz-Varela, A., López-Valenzuela, J. Á., Córdova-Téllez, L., Parra-Terraza, S., Leal-Sandoval, A., Maldonado-Mendoza, I. E., & Sánchez-Peña, P. (2019). Caracterización fenotípica y agronómica de maíces (*Zea mays* ssp. *mays* L.) nativos de Sinaloa, México. *Interciencia*, 44(7), 421-428. https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2019/08/421_Com_Linares_v44n7.pdf
- López-Morales, F., Taboada-Gaytán, O. R., Gil-Muñoz, A.; López, P. A., & Reyes-López, D. (2014). Morphological diversity of native maize in the humid tropics of Puebla, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 17(1), 19-31. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/1601>

- López-Romero, G., Santacruz-Varela, A., Muñoz-Orozco, A., Castillo-González, F., Córdova-Téllez, L., & Vaquera-Huerta, H. (2005). Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del Istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia*, 30(5), 284-290. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33910407.pdf>
- López, P. A., Ortiz-Torres, E., Gil-Muñoz, A., Guerrero-Rodríguez, J de D., Taboada-Gaytán, O. R., López-Sánchez, H., & Hernández-Guzmán, J. A. (2020). Patrón varietal y rendimiento de grano de maíces locales del Valle de Tehuacán, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(4-A), 525-532. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/43-4A/2a.pdf>
- Martínez R., S. E., & Monroy-Ortiz, R. (2009). La expansión urbana sobre el campo mexicano. La otra cara de la crisis agrícola. *Revista Estudios Agrarios*, 16(43), 29-46. <http://www.economia.unam.mx/cedrus/descargas/Expansionurbana.pdf>
- Muñoz O., A. (2003). Centli-Maíz. Prehistoria e historia, diversidad, potencial, origen genético y geográfico, glosario centli-maíz. Colegio de Postgraduados - SINAREFI.
- Orozco-Ramírez, Q., & Astier, M. (2017). Socio-economic and environmental changes related to maize richness in Mexico's central highlands. *Agriculture and Human Values*, 34, 377-391. <https://doi.org/10.1007/s10460-016-9720-5>
- Ortega C., A., Guerrero H., M. de J., & Preciado O., R. E. (2013). Diversidad y distribución del maíz nativo y sus parientes silvestres en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Ortega P., R. (2003). La diversidad del maíz en México. In: G. Esteva y C. Marielle (Coords.). *Sin Maíz No Hay País*. (pp. 123-154). Museo Nacional de Culturas Populares.
- Rocandio-Rodríguez, M., Santacruz-Varela, A., Córdova-Téllez, L., López-Sánchez, H., Castillo-González, F., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J. de J., & 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. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/37-4/6a.pdf>
- Sánchez G., J. J., Goodman, M. M., & Rawlings, J. O. (1993) Appropriate characters for racial classification in maize. *Economic Botany* 47:44-59. <https://doi.org/10.1007/BF02862205>
- SAS Institute Inc. (2012-2020) SAS® OnDemand for Academics. Cary, NC, USA. https://www.sas.com/en_us/software/on-demand-for-academics.html
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2021, Agosto 11). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Serratos H., J. A. (2009). El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. Greenpeace México.
- Sierra-Macías, M., Andrés-Meza, P., Palafox-Caballero, A., & 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. https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Ciencias_Naturales_y_Agropecuarias/vol3num9/Revista_de_Ciencias_Naturales_y_Agropecuarias_V3_N9_3.pdf
- Singh, R., & Mangat, N. S. (1996). *Elements of Survey Sampling*. Springer-Science+Business Media, B.V.
- Van de Wouw, M., Kik, Ch., Van Hintum, T., Van Treuren, R., & Visser, B. (2010). Genetic erosion in crops: concept, research results and challenges. *Plant Genetic Resources*, 8(1), 1-15. <https://doi.org/10.1017/S1479262109990062>
- Vidal-Martínez, V. A., Álvarez-Bravo, A., Coutiño-Estrada, B., Ruiz-Corral, J. A., Ramírez-Díaz, J. L. & Sánchez-González, J. de J. (2018). Patrones raciales etnogenéticos de maíces Tabloncillo y Tuxpeño, como mecanismos de conservación de germoplasma nativo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(8), 1727-1738. <https://doi.org/10.29312/remexca>

[v9i8.1487](#)

- Wang, X., Li, Y., Han, W., Song, Z., Wang, S., & Yang, J. (2022). Evaluation of root lodging resistance during whole growth stage at the plant level in maize. *Scientific Reports*, 12(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14159-0>
- Wellhausen, E. J., Roberts, L. M., & Hernández X., E. (en colaboración con P. C. Mangelsdorf) (1951). Razas de Maíz en México: Su Origen, Características y Distribución. Folleto Técnico No. 5. Oficina de Estudios Especiales. S. A. G.