

Diversidad morfológica y genética evaluada en colectas de maíz nativo del Mezquital, Durango

Assessment of morphological and genetic diversity in native maize accessions from Mezquital, Durango

Donaji Sierra-Zurita¹ , Rigoberto Rosales-Serna¹ , Pablo Alfredo Domínguez-Martínez^{1*} 

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) - Campo Experimental Valle del Guadiana. Carretera Durango - El Mezquital km 4.5, CP. 34170. Durango, Durango, México.

*Autor de correspondencia: dominguez.pablo@inifap.gob.mx

Artículo científico

Recibido: 11 de febrero 2026

Aceptado: 10 de julio 2026

RESUMEN. El maíz es un cultivo fundamental para la alimentación y nutrición de la población mexicana. El objetivo fue analizar cómo la variabilidad fenotípica puede utilizarse para evaluar la diversidad genética en colectas de maíz nativo del Mezquital, Durango. En 2023, se colectaron 30 poblaciones de maíz en dos localidades del municipio del Mezquital. Las poblaciones se caracterizaron mediante morfología de planta, mazorca y grano (2023 y 2024, 1 y 2.). Se realizó análisis de componentes principales y agrupamiento (ACP), utilizando las distancias Euclídeas y el método UPGMA, en el programa R *ver.* 4.5.2., así mismo, se caracterizaron en campo (2024-1 y 2024-2) las dos variedades más importantes para la comunidad Tepehuana (SMOX 9 y CEAL 25). Se observó predominancia de la raza Elotes Occidentales (EO) y Cónico Norteño (CN) y recombinación genética inter-poblacional con razas secundarias (Bofo y Cristalino de Chihuahua). El ACP mostró la importancia del color del grano, largo y ancho de la mazorca. En campo la variedad SMOX 9 mostró hijuelos, maduración en 154 días después de la siembra, altura de 357 cm, rendimiento entre 1863 y 2066 kg ha⁻¹ y granos de color rojo y negro-azulado. CEAL 25 presentó tallo simple, maduración en 130, altura de 306 cm, rendimiento de 1297 kg ha⁻¹ y grano blanco. La diversidad del maíz se mantiene en Durango, gracias a la conservación de variedades preferentes, movilización de semillas y recombinación genética intra e inter poblacional. Se pueden obtener variedades homogéneas de maíz, derivadas de poblaciones nativas preferentes en el Mezquital.

Palabras clave: Caracterización, conservación y uso, germoplasma, variabilidad genética, *Zea mays*.

ABSTRACT. Maize is a fundamental crop for the Mexican population, used for food and as a source of nutrients. This study aimed to analyze how phenotypic variability can be used to assess genetic diversity in native maize collections from Durango. In 2023, 30 maize populations were collected across two locations within the Mezquital municipality. These populations were characterized using plant, ear, and grain morphology (2023 and 2024, cycles 1 and 2). Principal component (PCA) and cluster analysis were performed using Euclidean distances and the UPGMA method in R software v. 4.5.2. The two most important varieties for the Tepehuan community (SMOX 9 and CEAL 25) were characterized in the field (2024-1 and 2024-2). Results revealed predominance of Elotes Occidentales (EO) and Cónico Norteño (CN) races, as well as evidence of inter-population genetic recombination with secondary races (Bofo and Cristalino de Chihuahua). The PCA highlighted the importance of grain color, ear length, and ear width. Under field conditions, the SMOX 9 variety exhibited tillers, maturation at 154 days after sowing, a plant height of 357 cm, a yield of 1,863-2,066 kg ha⁻¹, and red and blue-black grains. In contrast, CEAL 25 presented a single stalk, matured in 130 days, a plant height of 306 cm, a yield of 1,297 kg ha⁻¹, and white grains. Conservation of preferred varieties, seed mobilization, and both intra- and inter-population genetic recombination contribute to maintaining maize diversity in Durango. Based on these findings, maize varieties derived from preferred native populations can be obtained in the Mezquital region.

Keywords: Characterization, conservation and use, germplasm, genetic variability, *Zea mays*.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el recurso biocultural, agrícola y nutricional más relevante de México, país reconocido como centro de origen, domesticación y diversificación (Bedoya *et al.* 2017). Este proceso de evolución que inició hace 9 000 años a partir del teocintle (*Zea mays* ssp. *parviglumis*) en la región del río Balsas, derivó en una amplia agrobiodiversidad preservada mediante la selección empírica dirigida por comunidades indígenas y campesinas (Perales y Golicher 2014, Rincón-Sánchez y Ruíz-Torres 2018) para satisfacer necesidades bioculturales y de adaptación ambiental (Caballero-Salinas *et al.* 2023, Sánchez-Porras *et al.* 2025, Oliva-García *et al.* 2026). En el estado de Durango, esta selección ha permitido mantener la identidad genética de las poblaciones cultivadas en la zona sur, específicamente en el municipio del Mezquital. No obstante, la producción del municipio enfrenta desafíos relevantes, por ejemplo en 2024, mientras que la superficie de riego (151 ha) alcanzó 3.9 t ha⁻¹ de rendimiento promedio, el cultivo de temporal, que representa la mayor proporción de la superficie (7 769 ha), registró una producción de apenas 0.61 t ha⁻¹ (SIAP 2025).

La diversidad del maíz en México se organiza bajo el concepto de razas, identificándose 59 de ellas como originarias del territorio nacional (Sánchez *et al.* 2000, García-López *et al.* 2025). En Durango, la diferenciación racial es más acotada, reconociéndose solo ocho razas, estudios previos documentan, poblaciones con caracteres morfológicos distintivos y granos pigmentados, resultado del aislamiento orográfico y la gestión tradicional en la zona serrana (CONABIO 2020). Estas poblaciones se integran en el complejo racial de la Sierra Madre Occidental, donde predominan razas primarias como Cónico Norteño, Celaya, Ratón, Tuxpeño Norteño y Bolita, y secundarias como Pepitilla y Elotes Occidentales (Bedoya *et al.* 2017). En contraste, en los Valles y el altiplano la diversidad genética se ha erosionado debido a la transición hacia la producción intensiva que favorece el uso de híbridos comerciales y variedades tradicionales (Oliva-García *et al.* 2026), como CAFIME (Jiménez *et al.* 2024) y criollo Villa Unión.

La conservación *in situ* de estos recursos fitogenéticos es una prioridad estratégica que se ha impulsado por diversos sectores sociales en México (Camacho-Villa *et al.* 2024). Las poblaciones nativas son la base del sistema milpa, un policultivo dinámico que funciona como repositorio vivo de genes esenciales para la seguridad alimentaria (Caballero-Salinas *et al.* 2024). En Durango, sin embargo, las acciones de caracterización son limitadas y se ha priorizado a las zonas más importantes por extensión, donde predominan los híbridos de importación. Asimismo, se han antepuesto regiones de temporal, donde prevalecen variedades mejoradas de amplia adaptabilidad, como es el caso de CAFIME (Borja *et al.* 2016). A pesar de esta presión, las poblaciones nativas de maíz persisten en la serranía gracias a su rusticidad, adaptabilidad específica a nichos ecológicos y cualidades organolépticas superiores para elaboración de alimentos tradicionales (Caballero-Salinas *et al.* 2023).

El germoplasma nativo posee potencial genético invaluable para el desarrollo de variedades resilientes ante el cambio climático, mediante el aporte de rasgos de resistencia a sequía, tolerancia al estrés térmico y precocidad (Blair *et al.* 2012, Cortés y López-Hernández 2021). Un ejemplo es la raza Elotes Occidentales, que destaca por su alto valor comercial y preferencia de consumo (CONABIO 2010). Debido a lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar la

importancia de la variabilidad fenotípica y proponer métodos eficientes para la evaluación de la diversidad genética en colectas de maíz nativo obtenidas en el municipio del Mezquital, Durango.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sítios de colecta

La recolección de 30 poblaciones de maíz nativo se efectuó en marzo de 2023 en las localidades de Santa María de Ocotán y Xoconostle (SMOX) y Candelaria del Alto (CEAL), ambas situadas en el municipio del Mezquital, Durango (Tabla 1). La selección de estos sitios de muestreo se fundamentó en registros previos sobre la riqueza de diversidad genética y colecta de diferentes razas de maíz en la región. El método de muestreo utilizado en 2023 fue aleatorio y del total obtenido en la parcela y trojes de los hogares, de cada uno de los productores cooperantes, se tomó una muestra de 15 mazorcas, las cuales se llevaron al Campo Experimental Valle del Guadiana para su caracterización y conservación.

Tabla 1. Características de las localidades de colecta de maíz nativo en Durango.

Localidad	Latitud (N)	Longitud (O)	Altitud (m)	T° media anual (°C)	Precipitación media anual (mm)
Candelaria ¹	22° 54' 57"	104° 35' 57"	1994	*22.1	*485
Santa María ²	23° 04' 49"	104° 32' 44"	1949	17.8	415

¹Candelaria el Alto; ²Santa María de Ocotán y Xoconostle. *Datos de San Francisco del Mezquital.

Caracterización

La caracterización morfológica de cada colecta consideró diez mazorcas representativas. Se consideraron ocho variables cuantitativas y cualitativas, de acuerdo con el formato de informe técnico y lineamientos para la descripción de variedades de maíz nativo (SNICS 2014, SNICS 2024). Los atributos evaluados en las mazorcas fueron: longitud (LM), medida desde la base hasta el ápice; diámetro (DM), determinado en la sección media con vernier digital Mitutoyo®; número de hileras (NH); número de granos por hilera (NGH) y peso de la mazorca (PM). Para la obtención de las dimensiones del grano, se seleccionaron 10 semillas consecutivas de la parte central de una hilera de las mazorcas intactas y se midió: longitud (LG), ancho (AG) y grosor (GG). Asimismo, se validó la caracterización de las colectas con apoyo de especialistas del INIFAP, adscritos al Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX).

Caracterización en campo

En 2024, se realizó la caracterización de dos variedades nativas bajo condiciones de riego y dos fechas de siembra. La siembra se realizó el 6 y 13 de junio de 2024, en franjas de 20 surcos variedad¹, con una longitud de 150 m y 0.81 m de separación, en cada una de las fechas de siembra. Se utilizó semilla colectada en 2023 de las variedades SMOX 9 (clasificada dentro de la raza Elotes Occidentales) y CEAL 25 (integrada en la raza Cónico Norteño). Estas variedades se seleccionaron, con base en el gusto de los productores, que las consideran de alta calidad para la alimentación humana y animal; así como, por su adaptación a las condiciones locales de cultivo. La caracterización se realizó con base en el formato de informe técnico y descripción de variedades de

maíz nativo (SNICS 2024), el cual incluye 23 variables morfológicas de la planta, panícula, mazorca y grano.

Análisis estadístico

La variabilidad genética se evaluó a través del análisis de componentes principales (ACP) y clúster. El análisis de clúster incluyó la obtención de un dendrograma a partir del cálculo de distancias Euclídeas entre colectas y se tomó como base el método UPGMA (Unweighted Pair Grouping with Arithmetic Averages). La ejecución de los cálculos y la integración de los resultados se realizó con el lenguaje de programación R *ver.* 4.5.2.

RESULTADOS

Persistencia de razas de maíz

Se observó predominancia de la raza Elotes Occidentales en el grupo de 30 colectas obtenidas en el territorio sur del estado de Durango, seguida por la raza genética Cónico Norteño (Figura 1). En las localidades de estudio se incrementó la presencia de la raza genética Elotes Occidentales, que era considerada como secundaria. Otras razas como Onaveño mostraron nivel bajo de presencia, e incluso se registró persistencia reducida de otras, como Tabloncillo y Celaya, que habían sido reportadas previamente como abundantes en la región. Las poblaciones de maíz nativo colectadas en el territorio del Mezquital tienen preferencia de consumo y se adaptan al sistema de cultivos asociados que se práctica en la región, que incluye además frijol nativo (*Phaseolus vulgaris*), frijol patol (*P. coccineus*), calabaza (*Cucurbita* spp.) y chilacayote (*C. ficifolia*), especies que contribuyen en la diversificación de la dieta de la población local, la cual es predominantemente indígena (>86%).

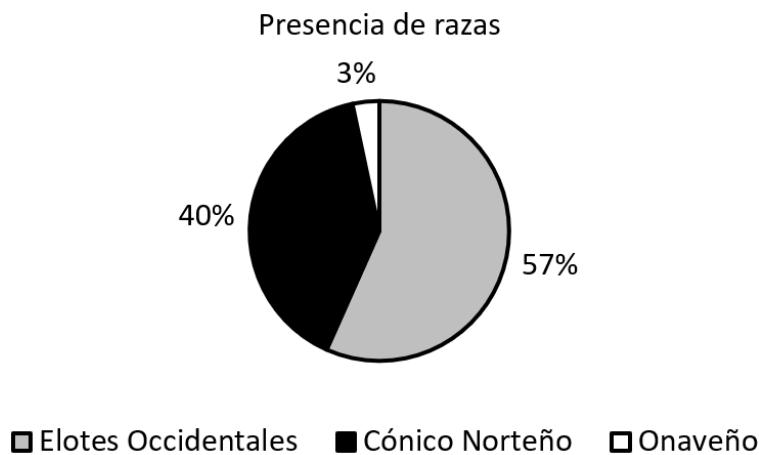


Figura 1. Proporción de razas de maíz registradas en 30 colectas obtenidas en el territorio sur de Durango.

Se observaron mezclas mecánicas y recombinación genética entre razas, algunas de las cuales fueron clasificadas como secundarias, entre las que se incluyó Bofo y Cristalino de Chihuahua (Tabla 2). Los resultados mostraron que, se mantuvo la presencia de un número intermedio de

razas de maíz en el sur de Durango (nueve), aunque algunas fueron consideradas en un nivel secundario en cada una de las muestras obtenidas.

Tabla 2. Razas de maíz identificadas y sitios de colecta en el municipio del Mezquital, Durango.

Razas de Maíz	Sitio de colecta
Elotes Occidentales	Santa María de Ocotán, Candelaria del Alto
Cónico Norteño	Santa María de Ocotán, Candelaria del Alto
Onaveño	Santa María de Ocotán, Candelaria del Alto
Bofo	Candelaria del Alto
Cristalino de Chihuahua	Candelaria del Alto
Elotes Cónicos	Candelaria del Alto
Cónico	Candelaria del Alto
Tablilla de Ocho	Candelaria del Alto
Azul	Candelaria del Alto

Diversidad genética

El ACP de los atributos morfológicos de la mazorca y semilla reveló una distribución fraccionada de la varianza. Se requirió la inclusión de diez componentes para capturar la totalidad de la variación observada (Tabla 3). Los caracteres con el aporte más sustancial a la explicación de la varianza fueron el color del grano (CG), longitud de la mazorca (LM) y diámetro de la mazorca (DM) (Figura 2).

Tabla 3. Eigenvalor y proporción de la varianza explicada por componentes principales en el estudio de caracteres de la mazorca y grano de accesiones de maíz colectadas en el municipio del Mezquital, Durango.

Componente	Eigenvalor	Proporción de Varianza (%)	Proporción Acumulada (%)
CP1*	2.4	24.0	24.0
CP2	2.0	19.8	43.8
CP3	1.8	18.0	61.8
CP4	1.1	10.9	72.7
CP5	0.9	9.3	82.0
CP6	0.6	6.3	88.3
CP7	0.5	4.6	92.9
CP8	0.3	3.3	96.2
CP9	0.3	2.7	98.9
CP10	0.1	1.1	100.0

*CP = componente principal.

El dendrograma resultante del análisis de agrupamiento (Figura 3) muestra un grupo (Grupo I) claramente distante del resto de las colectas. El Grupo III incluyó el resto de los materiales evaluados en el estudio y adoptó una configuración parafilética con dos subgrupos (IIIa y IIIb) con distinto grado de separación. La mayor segregación se observó en colectas en su mayoría de Candelaria el Alto; el subgrupo IIIa integró solo dos colectas de Santa María de Ocotlán y

Xoconostle (SMOX 2 y SMOX 10). La mayoría de las colectas en IIIa pertenecen a la raza Elotes Occidentales, mientras que solo dos son de la raza Cónico Norteño. En IIIb se observó un alto nivel de separación que abarcó las colectas CEAL 11 hasta CEAL 29, todas asignadas a la raza Cónico Norteño y colectadas principalmente en Candelaria del Alto. En niveles de agrupamiento más finos emergieron pequeños conjuntos vinculados a cada localidad y a colectas de las razas Elotes Occidentales, Cónico Norteño y Onaveño, con grados de separación acordes con la proximidad genética entre poblaciones.

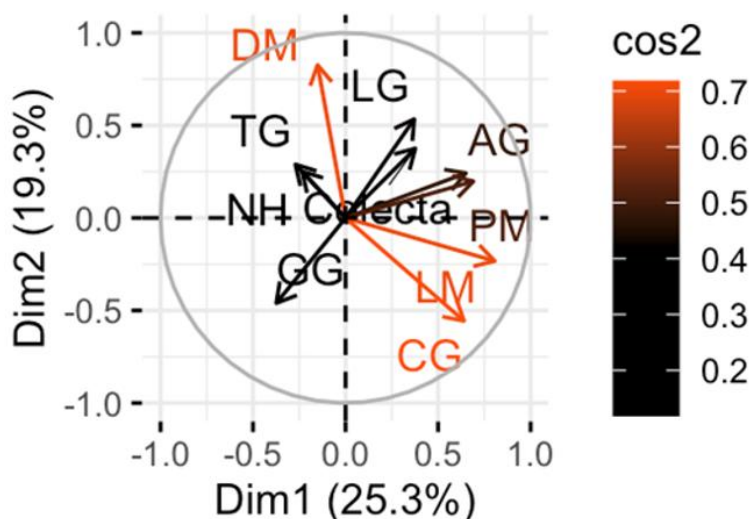


Figura 2. Variables con mayor contribución a la varianza observada en 30 colectas de maíz obtenidas en el municipio del Mezquital, Durango.

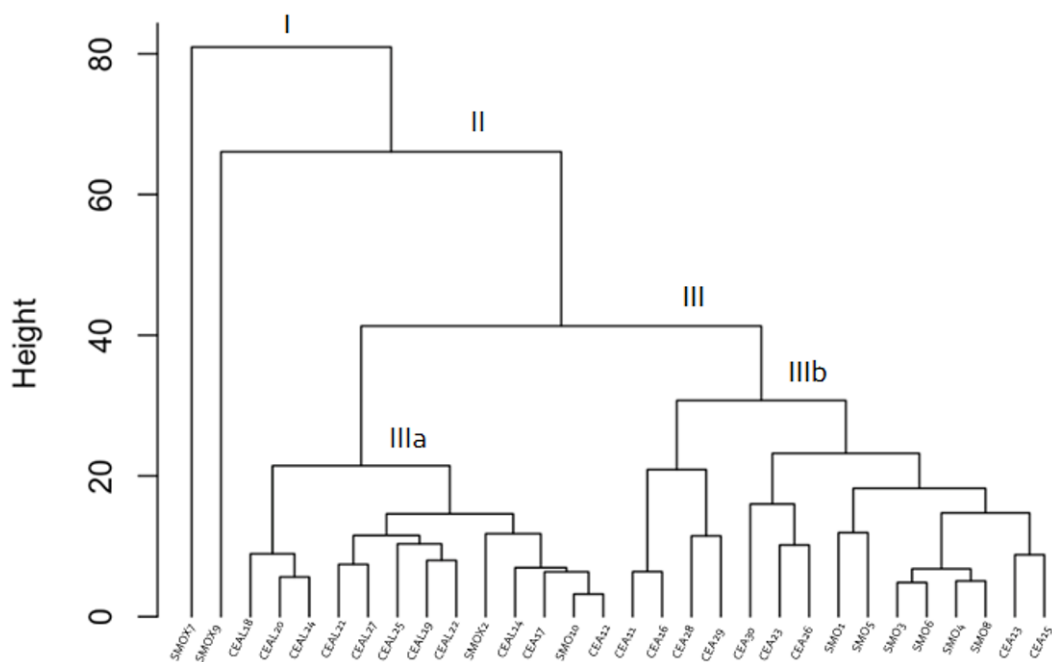


Figura 3. Dendrograma (UPGMA-Average) basado en atributos de la mazorca y semilla evaluados en 30 colectas de maíz nativo del Mezquital, Dgo., México. (SMOX = Santa María de Ocotán y Xoconostle y CEAL = Candelaria del Alto).

DISCUSIÓN

Persistencia de razas de maíz

La caracterización que se realizó con la colecta de 2023 en el municipio del Mezquital confirma la vigencia de las razas Elotes Occidentales y Cónico Norteño como los componentes centrales de la diversidad local. Esta dominancia racial se vincula a la selección empírica que los pueblos originarios, en este caso O'dam y Tepehuano, efectúan para garantizar la calidad de sus productos alimenticios tradicionales (Vigouroux *et al.* 2008). Se identifica que el grano de las variedades nativas de la raza Elotes Occidentales, características por su pigmentación roja, poseen demanda elevada que se traduce en sobreprecio de hasta cinco veces en comparación con otros maíces (CONABIO 2010, García-Cruz *et al.* 2023). En lo que respecta a las colectas de Cónico Norteño, su persistencia en el sur de Durango obedece a su notable precocidad y plasticidad (Hortelano-Santarosa *et al.* 2012, Kato-Yamakake 2023) ante las condiciones críticas de humedad (≤ 450 mm de precipitación) propias de la Sierra Madre Occidental (Martínez-Sifuentes *et al.* 2023). Por ello, la raza Cónico Norteño es una de las más utilizadas para el mejoramiento genético de maíz en toda la región del Altiplano Semiárido; donde se cruza con materiales de la raza Bolita, para obtener líneas y variedades tolerantes al estrés de humedad (CONABIO 2010).

La raza de maíz Onaveño ha ampliado su distribución debido a que se adapta bien a las condiciones locales, humedad limitada y tiene aptitud para consumo humano mediante la elaboración de tortillas y pinole; así como, capacidad aceptable para absorber agua, por lo que es apreciado para elaboración de botanas (CONABIO 2010). Además, es utilizado para la obtención de forraje para el ganado que consume el rastrojo en forma directa y en raciones totalmente mezcladas, en las que se utiliza toda la parte aérea de la planta.

Diversidad genética

Los resultados del ACP de este estudio difieren de los reportados por otros autores, en los cuales dos componentes explicaron 68% de la variación total. Esta diferencia se atribuye al uso y selección previa de variables continuas (cuantitativas) y discretas (cualitativas) de la planta, mazorca y semilla; así como, mayor nivel de variación por la amplitud del área geográfica estudiada (Rocandio-Rodríguez *et al.* 2014). Algunas de las variables sobresalientes en el presente trabajo coinciden con lo reportado en la evaluación de múltiples razas de maíz (Linares *et al.* 2019); por tanto, esas características resultan útiles como criterios de selección para clasificar colectas obtenidas en el sur del estado de Durango.

La caracterización y clasificación morfológica de las colectas responde a la variabilidad intra e inter-poblacional. En la evaluación se detectó un sesgo derivado del ajuste incompleto de mazorcas, granos y olotes a las categorías y niveles definidos en la descripción varietal y descriptores morfológicos empleados. En consecuencia, se consideró necesario complementar la evaluación del germoplasma con otras características morfo-agronómicas medidas en condiciones de campo (Rivas *et al.* 2022). Entre las variables recomendables para clasificación de colectas de maíz nativo figuran el color dorsal del grano y atributos adicionales de la mazorca; estas características pueden contribuir a estimar la cercanía genética (Carvalho *et al.* 2004, Salinas-Moreno *et al.* 2024) entre poblaciones colectadas en la Sierra Sur de Durango y en otras regiones del país. Asimismo, la

morfología de la mazorca, en particular longitud y diámetro, puede aportar información discriminante que complemente la delimitación de razas en una región específica (Di-Pasquale *et al.* 2024).

El Grupo I es monofilético y está integrado por una población correspondiente a la raza Elotes Occidentales. Dicha población, se colectó en Santa María de Ocotán y Xoconostle (SMOX 7), presenta granos de color negro-azulado (SNICS 2014), junto con plantas de grano rojo y olotes blancos y rojos. En la misma localidad se identificó otra unidad diferenciada (SMOX 9), también perteneciente a Elotes Occidentales; esta variedad mantiene presencia frecuente en el sur de Durango por la preferencia de los productores por su grano. Estos hallazgos concuerdan con estudios previos que muestran separación de Elotes Occidentales respecto a razas agrupadas en distintas áreas ecológicas (González-Castro *et al.* 2013). La subraza Harinero de Ocho, procedente del altiplano jalisciense, exhibe amplio rango de adaptación altitudinal que favoreció mayor diversificación y con el tiempo, una tendencia hacia la especiación (González-Castro *et al.* 2013).

Pese a la diversidad genética documentada en maíz cultivado en la Sierra del Mezquital, Durango, la presencia de determinadas razas ha sido limitada por la preferencia de los productores. No obstante, la diversidad se mantiene en localidades más aisladas que quedan fuera de las principales cadenas de distribución de alimentos de la región (González-Martínez *et al.* 2019). La conservación tradicional de variedades locales, en particular las preferidas por los pobladores de las localidades muestreadas, se vincula con los usos alimentarios asociados a Elotes Occidentales: consumo de elotes, granos para masa de tortillas y tamales, pinole, entre otros de importancia regional.

Las poblaciones de maíz analizadas exhibieron niveles de heterogeneidad y heterocigosidad de moderados a altos, lo que dificultó la caracterización del germoplasma recolectado durante 2023 en el sur de Durango. En las colectas se identificaron entre tres y nueve razas, con superioridad de Elotes Occidentales y Cónico Norteño, lo que refleja la preferencia local por determinados tipos de grano. La combinación de diversidad genética, selección por los pobladores nativos y heterogeneidad ambiental en un área compacta facilita la diferenciación de algunas variedades (Pressoir y Berthaud 2004, McLean-Rodríguez *et al.* 2021). Sobre esa base se seleccionaron y sembraron dos colectas, una de la raza Elotes Occidentales y otra de Cónico Norteño, con el propósito de avanzar en su caracterización y registrar dichas colectas como variedades nativas relevantes para el sur de Durango.

La variedad nativa SMOX 9, colectada en Santa María de Ocotán y Xoconostle, en condiciones de riego presentó hasta cuatro hijuelos por planta. La antesis ocurrió a los 73 días después de la siembra (DDS); mientras que, la madurez se alcanzó 154 DDS. Se registró pigmentación media en la base de la panícula, pigmentación débil en los entrenudos y 357 cm de altura promedio. La media de rendimiento que se obtuvo en la primera fecha de siembra (6/06/2024) fue de 2 066 kg ha⁻¹; para la segunda fecha (13/06/2024) fue de 1 8363 kg ha⁻¹. El grano de SMOX 9 es, en su mayoría, negro-azulado; aunque, algunas mazorcas presentaron granos con pigmentación roja y olotes generalmente blancos. Mientras que la variedad nativa CEAL 25, colectada en Candelaria el Alto, mostró tallo simple bajo condiciones de riego. La antesis ocurrió 63 DDS y la madurez 130 DDS. La gluma de la panícula y los entrenudos exhibieron pigmentación débil. La altura de las plantas fue 306 cm en promedio. La media de rendimiento fue 1 297 kg ha⁻¹. El grano y los olotes son blancos.

CONCLUSIONES

La zona sur del estado de Durango conserva una diversidad racial significativa, con mayor presencia de las razas Elotes Occidentales y Cónico Norteño. Esta riqueza se asocia a la selección empírica de los pueblos O'dam y Tepehuano para garantizar la calidad de sus alimentos básicos y la adaptación a nichos ecológicos específicos. La presencia de nueve razas representa el 45% de la diversidad racial potencial, lo cual ratifica la importancia de esta región como refugio de germoplasma nativo.

Los atributos morfológicos de color de grano, longitud y diámetro de mazorca sirvieron para la clasificación técnica de las colectas. Las variedades SMOX 9 y CEAL 25 poseen rasgos agronómicos de alto valor para la soberanía alimentaria y resiliencia ante el estrés hídrico en Sierra Madre Occidental. La variabilidad genética reportada permite el desarrollo de materiales homogéneos a partir de poblaciones preferidas por los pueblos originarios, acción que fortalece la conservación *in situ* frente a las amenazas de erosión genética y cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) por el financiamiento del Proyecto Estratégico Desarrollo de Territorios Rurales con Productores que Custodian Maíces Nativos en México (con número SIGI 1253456608).

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Bedoya CA, Dreisigacker S, Hearne S, Franco J, Mir C, Prasanna BM, Taba S, Charcosset A, Warburton ML (2017) Genetic diversity and population structure of native maize populations in Latin America and the Caribbean. PLOS ONE 12(4): e0173488. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173488>
- Blair MW, Pantoja W, Carmenza-Muñoz L (2012) First use of microsatellite markers in a large collection of cultivated and wild accessions of tepary bean (*Phaseolus acutifolius* A. Gray). Theoretical and Applied Genetics 125(6): 1137-1147. <https://doi.org/10.1007/s00122-012-1900-0>
- Borja BM, Rosales SR, Sigala RJA, Sarmiento LH, Rosales MS (2016) Eficiencia productiva y económica de sistemas agroforestales pino y cultivos anuales en el estado de Durango. Folleto Técnico Núm 72. INIFAP-CIRNOC- Campo Experimental Pabellón. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. 31p.
- Caballero-Salinas JC, Pizaña-Vidal HA, González-Cabañas AA, Núñez-Ramos E, Aguilar-Cruz F, Ovando-Salinas E (2023) Composición morfológica y rendimientos de maíces nativos con prácticas agroecológicas en Chiapas, México. Siembra 10(2): e3997. <https://doi.org/10.29166/siembra.v10i2.3997>

- Caballero-Salinas JC, Guevara-Hernández F, Pizaña-Vidal HA, Cadena-Iñiguez P, Ovando-Salinas JE, Gómez-Padilla EJ (2024) Morphological and agronomic evaluation of short-cycle native maize varieties (*Zea mays* L.). *Agro Productividad* 17(10): 211-220. <https://doi.org/10.32854/agrop.v17i10.3102>
- Camacho-Villa TC, Aparicio-Sánchez S, Costich DE, Vidal-Martínez VA (2024) Dinámicas de mantenimiento y de pérdida *in situ* del maíz raza Jala. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 15(1): e3247. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i1.3247>
- Carvalho VP, Ruas CF, Ferreira JM, Moreira RMP, Ruas PM (2004) Genetic diversity among maize (*Zea mays* L.) landraces assessed by RAPD markers. *Genetics and Molecular Biology* 27(2): 228-236. <https://doi.org/10.1590/s1415-47572004000200017>
- CONABIO (2010) Tabla descriptiva de razas de maíz en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 9p. https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/genes/files/Tabla_razas_marzo_2010.pdf. Fecha de consulta: 20 de octubre de 2025.
- CONABIO (2020) Razas de maíz de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México. México, México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>. Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2025.
- Cortés AJ, López-Hernández F (2021) Harnessing crop wild diversity for climate change adaptation. *Genes* 12(5): 783. <https://doi.org/10.3390/genes12050783>
- Di-Pasquale GM, Stagnati L, Lezzi A, Lanubile A, Marocco A, Rossi G, Busconi M (2024) Morphological and genetic characterization of maize landraces adapted to marginal hills in North-West Italy. *Plants* 13(7): 1030. <https://doi.org/10.3390/plants13071030>
- García-Cruz L, Vázquez-Carrillo MG, Preciado-Ortiz RE (2023) Flowered grain quality and phytochemical content of non-conventional maize hybrids from the mexican subtropics across three growing cycles. *Plants* 12(14): 2691. <https://doi.org/10.3390/plants12142691>
- García-López D, Jacinto-Hernández G, Pérez-Nicolás M, De-La-Rosa-Galindo A (2025) Morphological characterization of native maize varieties (*Zea mays* L.). *Agro Productividad* 18(6): 221-229. <https://doi.org/10.32854/ph0y8c80>
- González-Castro ME, Palacios-Rojas N, Espinoza-Banda A, Bedoya-Salazar CA (2013) Diversidad genética en maíces nativos mexicanos tropicales. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(3-S3-A): 329-338. <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.3-s3-a.329>
- González-Martínez J, Vanoye-Eligio V, Chacón-Hernández JC, Rocandio-Rodríguez M (2019) Diversidad y caracterización de maíces nativos de la Reserva de la Biósfera “El Cielo”, Tamaulipas, México. *CienciaUAT* 14(1): 6-17. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1246>
- Hortelano-Santarosa R, Gil-Muñoz A, Santacruz-Varela A, López-Sánchez H, López PA, Miranda-Colín S (2012) Diversidad fenotípica de maíces nativos del altiplano centro-oriente del estado de Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35(2): 97-109. <https://doi.org/10.35196/rfm.2012.2.97>
- Jiménez OR, Rosales SR, Sierra ZD (2024) Campo Experimental Valle del Guadiana: 50 años de logros científicos y tecnológicos para Durango. INIFAP-CIRNOC- Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, México. 136p.
- Kato-Yamakake TÁ (2023) Caracterización y origen genético de tres razas de maíz a partir de datos de nudos cromosómicos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 46(3): 219-227. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.3.219>
- Linares HOO, Rocandio RM, Santacruz VA, López VJA, Córdoba TL, Parra TS, Leal SA, Maldonado MIE, Sánchez PP (2019) Caracterización fenotípica y agronómica de maíces (*Zea mays* ssp. *mays* L.) nativos de Sinaloa, México. *Interciencia* 44(7): 421-428.

- Martínez-Sifuentes AR, Trucíos-Caciano R, Rodríguez-Moreno VM, Villanueva-Díaz J, Estrada-Ávalos J (2023) The impact of climate change on evapotranspiration and flow in a major basin in Northern Mexico. *Sustainability* 15(1): 847. <https://doi.org/10.3390/su15010847>
- McLean-Rodríguez FD, Costich DE, Camacho-Villa TC, Pè ME, Dell'Acqua M (2021) Genetic diversity and selection signatures in maize landraces compared across 50 years of in situ and ex situ conservation. *Heredity* 126(6): 913-928. <https://doi.org/10.1038/s41437-021-00423-y>
- Oliva-García D, Coutiño-Estrada B, Rojas-Barrera IC, Perales H, Piñero D, Wegier A, Mastretta-Yanes A (2026) Diversity and genetic structure within a Mexican maize race reveal consistent biocultural processes across geographic scales. *Genetic Resources and Crop Evolution* 73(1). <https://doi.org/10.1007/s10722-025-02682-8>
- Perales H, Golicher D (2014) Mapping the diversity of maize races in Mexico. *PLoS ONE* 9(12): e114657. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114657>
- Pressoir G, Berthaud J (2004) Population structure and strong divergent selection shape phenotypic diversification in maize landraces. *Heredity* 92(2): 95-101. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800388>
- Rincón-Sánchez F, Ruíz-Torres NA (2018) Assessing maize diversity and defining a representative subset by means of selected morphological ear traits. *Plant Genetic Resources* 16(6): 488-497. <https://doi.org/10.1017/s1479262118000047>
- Rivas JG, Gutierrez AV, Defacio RA, Schimpf J, Vicario AL, Hopp HE, Paniago NB, Lia VV (2022) Morphological and genetic diversity of maize landraces along an altitudinal gradient in the Southern Andes. *PLOS ONE* 17(12): e0271424. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271424>
- Rocandio-Rodríguez M, Santacruz-Varela A, Córdova-Téllez L, López-Sánchez H, Castillo-González F, Lobato-Ortiz R, García-Zavala JJ, Ortega-Pazkca 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://doi.org/10.35196/rfm.2014.4.351>
- Salinas-Moreno Y, Santillán-Fernández A, de-la-Torre IA, Ramírez-Díaz JL, Ledesma-Miramontes A, Martínez-Ortiz MÁ (2024) Physical traits and phenolic compound diversity in maize accessions with blue-purple grain (*Zea mays* L.) of mexican races. *Agriculture* 14(4): 564. <https://doi.org/10.3390/agriculture14040564>
- Sánchez GJJ, Goodman MM, Stuber CW (2000) Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* 54(1): 43-59. <https://doi.org/10.1007/bf02866599>
- Sánchez-Porras A, Romero-Natale A, Acevedo-Sandoval O, Guerra-Castro E (2025) imanr: An R tool for the identification of Mexican native maize complexes. *One Ecosystem* 10. <https://doi.org/10.3897/oneeco.10.e149055>
- SIAP (2025) Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta: 8 de septiembre de 2025.
- SNICS (2014) Guía técnica para la descripción varietal de maíz (*Zea mays* L.). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Tlanepantla, Estado de México, México. 39p.
- SNICS (2024) Guía para la descripción de variedades nativas maíz (*Zea mays* L.). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural - Servicio Nacional y Certificación de Semillas. México. 41p.
- Vigouroux Y, Glaubitz JC, Matsuoka Y, Goodman MM, Sánchez GJ, Doebley J (2008) Population structure and genetic diversity of New World maize races assessed by DNA microsatellites. *American Journal of Botany* 95(10): 1240-1253. <https://doi.org/10.3732/ajb.0800097>