

## DIVERSIDAD FENOTÍPICA DE MAÍCES NATIVOS DE NUEVO LEÓN, MÉXICO, Y SU RELACION CON VARIABLES AGROCLIMATICAS DE SUS LUGARES DE ORIGEN

## PHENOTYPIC DIVERSITY OF MAIZE NATIVE TO NUEVO LEON, MEXICO, AND ITS RELATIONSHIP WITH AGROCLIMATIC VARIABLES OF THEIR PLACES OF ORIGIN

Eleazar Lugo-Cruz<sup>1</sup>, Rafael Ruiz-Hernández<sup>2\*</sup>, Francisco Zavala-García<sup>1</sup>, Guillermo Niño-Medina<sup>1</sup> y José Miguel Ibarra-Arias<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía, Unidad Académica La Ascensión. Aramberri, Nuevo León, México. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México.

\*Autor de correspondencia (rafael.ruiz@colpos.mx)

### RESUMEN

La diversidad de los maíces nativos (*Zea mays* L.) está disminuyendo a pesar de que son importantes para la seguridad alimentaria y para fitomejoramiento. Caracterizar este germoplasma, así como sus lugares de origen permitirá tener mayor comprensión sobre los patrones de diversidad y diseñar estrategias para su uso y conservación. El objetivo de este estudio fue analizar la diversidad fenotípica de 33 maíces nativos del sur de Nuevo León, México, y su relación con variables agroclimáticas de sus lugares de origen. Se estableció un ensayo de campo durante el ciclo PV/2023 en Nuevo León, México (24° 19' 5.9" N y 99° 56' 34.8" W) bajo un diseño de bloques completos al azar. Se analizaron 25 variables fenotípicas y 26 agroclimáticas. Se encontró amplia diversidad fenotípica en los maíces nativos del sur de Nuevo León, México. El peso del grano total de la mazorca, peso de cien granos, biomasa de tallo, altura de planta, forraje seco por planta y número de plantas cosechadas tuvieron la mayor aportación a la variabilidad fenotípica, y éstos correlacionaron positivamente con el rendimiento de grano y de forraje seco. Se identificaron variedades de maíz sobresalientes en precocidad, producción de grano y de forraje seco, que pueden utilizarse directamente o en programas de fitomejoramiento. La diversidad de los maíces nativos coincidió mayormente con las diferencias climáticas que con las distancias geográficas de los lugares de origen. Esta información es importante para tomar mejores decisiones sobre el uso y conservación de los maíces nativos de la región estudiada.

**Palabras clave:** *Zea mays*, altitud, clima, maíz nativo, rendimiento de grano y forraje seco.

### SUMMARY

Native maize (*Zea mays* L.) diversity is declining despite its importance for food security and plant breeding. Characterizing this germplasm as well as its places of origin will allow to have a better understanding of diversity patterns and to design strategies for their use and conservation. The objective of this study was to analyze the phenotypic diversity of 33 landraces of maize native to Southern Nuevo Leon, Mexico, and their relationship with agroclimatic variables in their places of origin. A field trial was established during the 2023 Spring-Summer season in Nuevo Leon, Mexico (24° 19' 5.9" N and 99° 56' 34.8" W) under a randomized complete block design. Twenty-five phenotypic and twenty-six agroclimatic variables were analyzed. Wide phenotypic diversity was found in the native maize of Southern Nuevo Leon, Mexico. Total weight of grain per ear, one-hundred grain weight, stem biomass, plant height, dry forage per plant and number of plants harvested had the greatest contribution

to phenotypic variability, and these positively correlated with grain and dry forage yield. Maize varieties outstanding in earliness, grain production and dry forage were identified, which can be used directly or in plant breeding programs. The diversity of native maize was mostly associated with climatic differences than with geographical distances from place of provenance. This information is important for making better decisions for use and conservation of native maize in the studied region.

**Index words:** *Zea mays*, altitude, climate, grain and dry stover yield, maize landrace.

### INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población demanda mayor producción de maíz, ya que es uno de los cereales más producidos y consumidos en el mundo (Rangel-Lucio *et al.*, 2021). México es centro de origen y diversificación del maíz, donde tiene importancia alimenticia, cultural y económica (Linares-Holguín *et al.*, 2019). Aproximadamente el 80 % del área cultivada con maíz en México se establece con maíces nativos, que son variedades de polinización libre sin algún proceso de mejoramiento formal y cada ciclo han sido seleccionadas por productores. En la región del sur de Nuevo León el uso de variedades nativas es aún mayor, pues estas se usan en el 94 % (19,904 ha en temporal y 2,400 ha en riego) del área cultivada con maíz (SIAP, 2023), donde se prefiere a los maíces nativos por encima de los mejorados debido al menor costo de la semilla, adaptación a condiciones de ambientes desfavorables, preferencia del ganado y por razones culinarias y culturales; por ello, el maíz nativo constituye un componente clave en la seguridad alimentaria del país (Hellin *et al.*, 2014). Los maíces nativos están adaptados a una gran diversidad de nichos agroecológicos y albergan una amplia diversidad genética y fenotípica (Sánchez *et al.*, 2019). Se ha reportado que la distancia geográfica de los lugares de origen de estos maíces contribuye en gran proporción al patrón general de su variabilidad (Conteras-Molina *et al.*, 2016; González

et al., 2013); sin embargo, existe poca información sobre las variables agroclimáticas que mayormente contribuyen a formar tal diversidad. Las variables de clima son importantes como descriptores ecológicos usados para caracterizar sitios de colecta de maíces nativos, lo que permite tener una mejor comprensión sobre sus patrones de diversidad genética y mejorar la toma de decisiones para su aprovechamiento y conservación (Ruiz et al., 2008).

En México se han reportado maíces nativos con rendimiento de grano de entre 2.7 y 9.0 t ha<sup>-1</sup> (Conceição-Santos et al., 2024; Rangel-Lucio et al., 2021), y de forraje seco de entre 1.7 y 14.8 t ha<sup>-1</sup> (Guerrero-Rodríguez et al., 2023; Salinas-Vargas et al., 2022), donde algunos maíces nativos mostraron menor, igual o mayor rendimiento de grano y forraje que los maíces mejorados. Debido a lo anterior, y a que los maíces nativos están en constante evolución, su diversidad sigue siendo importante, ya que pueden existir genotipos sobresalientes para incrementar la producción, calidad y la tolerancia a condiciones adversas como las que ha provocado el cambio climático (Hellin et al., 2014).

Actualmente falta mucha información que se puede generar con estudios de los maíces nativos, la cual puede ayudar a reactivar su cultivo, contrarrestar los desastres productivos ocasionados por efectos climáticos y, de manera general, a mejorar el rendimiento y la rentabilidad productiva (McLean-Rodríguez et al., 2019). En el sur de Nuevo León, durante el período de 2019 a 2023, el área sembrada con maíz nativo disminuyó 64 % en temporal, mientras que en riego se mantuvo (SIAP, 2023). Estas áreas de riego juegan un papel importante para la conservación de los maíces nativos; por ello, es crucial analizar la diversidad del germoplasma, para conocer su riqueza genética y distribución geográfica, entender su comportamiento en ambientes diferentes al de su origen, promover su uso y mitigar su erosión (Sánchez et al., 2019). El objetivo del estudio fue analizar la diversidad fenotípica en una muestra de maíces nativos del sur de Nuevo León, México y conocer su relación con las variables agroclimáticas de los lugares de origen, con la finalidad de identificar genotipos sobresalientes y determinar estrategias para su conservación y aprovechamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material genético, diseño experimental y manejo del cultivo

El material genético consistió de 33 maíces nativos recolectados durante los años 2016 y 2022 en Nuevo León, México (Figura 1). Los testigos fueron las variedades JRPinto, PAmarillo, PAzul, PBlanco y PPinto, que son

nativas del sitio de evaluación; además, se usó el híbrido comercial CP-Promesa recomendado para Valles Altos y el maíz Chazumba nativo de Oaxaca, México. Una muestra de los maíces nativos estudiados se encuentra tanto en el Banco de Germoplasma del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, como en el Banco de Germoplasma de la Facultad de Agronomía, de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), México. El experimento se llevó a cabo en la Facultad de Agronomía, Unidad Académica La Ascensión de la UANL (24° 19' 5.9" N, 99° 56' 34.8" W, 1972 msnm), ubicada en Aramberri, Nuevo León, México, que presenta clima templado subhúmedo (INEGI, 2024a). La siembra se realizó el 6 de julio de 2023 a una densidad de 62,500 plantas ha<sup>-1</sup> (20 cm entre plantas).

El experimento se llevó a cabo utilizando un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. La unidad experimental consistió en dos surcos de 4 m de largo por 0.8 m de ancho. Como parcela útil se consideraron los 3 m centrales de cada surco. No se fertilizó, ni realizó ningún tratamiento a la semilla. Durante el cultivo se realizaron dos aplicaciones con cipermetrina (dosis 250 mL ha<sup>-1</sup>) para el control de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*). Las malezas se controlaron de forma manual y se aplicaron los riegos necesarios para mantener la humedad aprovechable del suelo por encima del 50 % durante el ciclo de cultivo.

### Variables fenotípicas y agroclimáticas

Se registraron los días a floración masculina (FM) y femenina (FF) desde la siembra hasta que 50 % de las plantas de la misma accesión presentaron anteras dehiscentes y estigmas expuestos, respectivamente, y la asincronía floral (AF = FF-FM). Con los FF se formaron grupos de maíces por precocidad, según Contreras-Molina et al. (2016). En la cosecha se determinó el número de plantas (PC) y de mazorcas (MC) cosechadas por m<sup>2</sup>, y en dos plantas representativas por unidad experimental se registró la altura de planta (AP, m) y de la mazorca principal (AM, m), la biomasa de tallo (BT, g), hojas (BH, g), espiga (BE, g), brácteas (BB, g), olote (BO, g), grano (BG, g) y total (BTO en g = BT + BH + BE + BB + BO + BG), el forraje seco por planta (FSP en g = BTO - BO - BG) y por hectárea [FSH en t ha<sup>-1</sup> = FSP × (PC × 10,000)], así como el índice de cosecha (IC = BG/BTO). La biomasa se registró después de secar las plantas a 70 °C hasta peso constante en un horno (HCFD-82, Riossa México).

En 10 mazorcas representativas se registró el peso del grano total (PG, g), número de hileras (NH), número de granos por hilera (GH), número de granos totales (NG = NH × GH), peso de cien granos (PCG, g) y el diámetro (DM, mm) y longitud (LM, cm) de la mazorca. El rendimiento de grano (RG, t ha<sup>-1</sup>) fue ajustado a 14 % de humedad y calculado

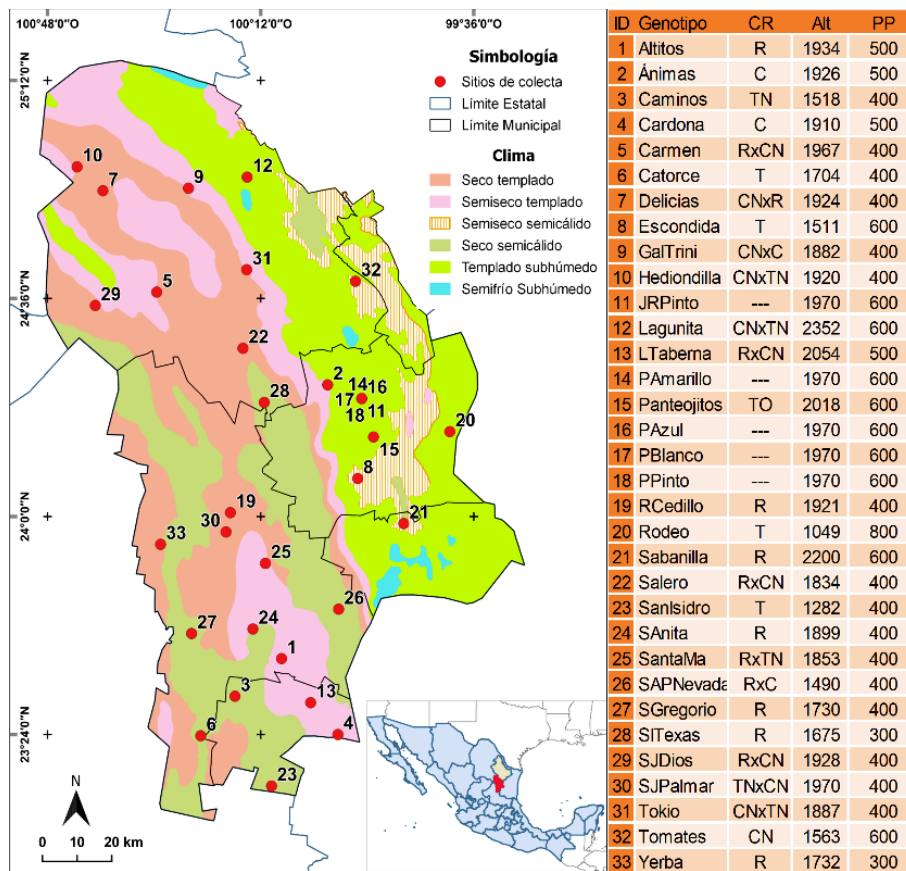


Figura 1. Ubicación geográfica de lugares de recolecta de los maíces nativos del sur de Nuevo León, México. CR: Clasificación racial. R: Ratón, T: Tuxpeño, CN: Cónico Norteño, TN: Tuxpeño Norteño, C: Celaya, Alt: Altitud (msnm), PP: Precipitación media anual (mm). Fuente: INEGI (2024a).

con la siguiente fórmula:

$$RG = PG \times \left( \frac{100 - H}{86} \right) \times \left( \frac{10}{PU} \right)$$

donde: PG es el peso del grano cosechado en la parcela útil expresado en kg; H es el porcentaje de humedad del grano cosechado, y PU es el área cosechada, que corresponde a la parcela útil (4.8 m²).

Las variables agroclimáticas registradas fueron altitud (msnm), temperatura media anual (°C) y precipitación anual (mm) que se obtuvieron del Mapa Digital de México v6.1 (INEGI, 2024b). Otras 23 variables relacionadas con el flujo solar, humedad del suelo, humedad del aire, precipitación y presión atmosférica se registraron como la media anual de 10 años (2013 a 2022), éstas se encuentran en la base de datos NASA POWER v2.4.3 (Stackhouse, 2024), usando la opción "punto individual", comunidad "agroclimatología" y nivel temporal "mensual y anual". Este trabajo excluyó la cantidad de nubes, índice UV de toda la superficie del cielo, punto de rocío, temperatura en un rango de 2 m, suma de precipitaciones, así como la velocidad y dirección del viento.

### Análisis estadístico

Los análisis de varianza, comparaciones de medias (Tukey, P ≤ 0.05), análisis de correlación de Pearson y análisis de componentes principales se realizaron con el software InfoStat v2020 (Di Rienzo et al., 2020). Con el software R v4.4.1 (R Core Team, 2024) se llevó a cabo un análisis de agrupamiento mediante la matriz de distancias euclidianas y el método de la media aritmética no ponderada (UPGMA). El número óptimo de grupos se determinó con la función NbClust. Las diferencias fenotípicas entre estos grupos se detectaron mediante análisis de varianza unifactorial y para la comparación de medias se usó la diferencia mínima significativa (DMS, P ≤ 0.05).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El factor genotipos tuvo un efecto significativo para las 25 variables fenotípicas medidas (Cuadro 1), lo que indicó la presencia de amplia variabilidad genética expresada como diversidad fenotípica; por ello, los maíces estudiados

pueden considerarse como una fuente importante de alelos para fitomejoramiento. Tal diversidad podría explicarse por la adaptación de los maíces a diversos ambientes, con climas que van desde seco semicálido hasta templado subhúmedo, altitudes de entre 1049 y 2352 msnm y precipitaciones anuales de entre 300 y 800 mm (Figura 1), ya que las diferencias ambientales de sus orígenes influyen sobre el patrón general de la diversidad del maíz nativo (González *et al.*, 2013).

**Rendimiento de grano y sus componentes**

Los maíces nativos PPinto, SAPNevada y SJPalmar fueron los de mayor rendimiento de grano (RG) con 5.1, 5.3 y 6.3 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 2). Estos maíces se consideraron sobresalientes, ya que superaron el RG promedio de los maíces testigos (4.0 t ha<sup>-1</sup>), del híbrido CP-Promesa (3.2 t ha<sup>-1</sup>) y al RG comercial en riego para la zona de estudio, que es de 4.0 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2023); además, estos tres genotipos pertenecen al grupo de maíces que mostraron mayor número de plantas cosechadas por m<sup>2</sup>, longitud de la mazorca, peso del grano total de la mazorca, así como valores bajos en asincronía floral (Cuadro 2).

**Precocidad**

El 6 % de los maíces fueron ultraprecoces (FF ≤ 81), 80 % precoces (FF entre 82 y 101) y 14 % intermedios (FF entre 104 y 114) (Cuadro 2). Conocer la duración del ciclo biológico del maíz es importante porque genotipos tardíos son más apropiados para siembras tempranas, mientras que maíces precoces son apropiados para siembras tempranas y tardías, pues pueden completar su ciclo antes de la temporada de heladas otoñales, evitando así su efecto negativo. Los maíces nativos más precoces fueron SJDios y Delicias (ultraprecoces), así como SJPalmar, PPinto, PBlanco, PAzul, Ánimas, PAmarillo, PAnteojitos, Hediondilla, JRPinto, Lagunita y GalTrini (precoces), los cuales se consideraron sobresalientes por mostrar menor o similar duración del ciclo (de 76 a 85 días a FM, y de 80 a 89 días a FF) comparado con el híbrido CP-Promesa (FM = 85 y FF = 89), el promedio de los maíces testigo (FM = 81 y FF = 86), y de otros maíces (FM de 66 a 128 días, y FF de 65 a 181 días) evaluados en otras zonas de transición de México (Contreras-Molina *et al.*, 2016; Ramírez *et al.*, 2013).

**Rendimiento de forraje y sus componentes**

Dieciséis maíces nativos mostraron la mayor producción de forraje seco por hectárea (FSH), la cual osciló entre 10.6 y 17.1 t ha<sup>-1</sup> (Cuadro 3). De estos maíces, destacaron los genotipos SantaMa, SanIsidro y Altitos, ya

**Cuadro 1. Cuadrados medios de los análisis de varianza y coeficiente de variación (CV) de 35 genotipos de maíz evaluados en el sur de Nuevo León, México.**

FV	gl	FM	FF	AF	RG	IC	PC	MC	LM	DM	NH	GH	NG	PG
Genotipo	34	267 *	239 *	16 *	4.7 *	0.0 *	2.4 *	4.0 *	8.5 *	20 *	7.1 *	57 *	6179 *	1084 *
Bloque	2	15 *	24 ns	1.3 ns	0.0 ns	0.0 ns	2.8 *	0.2 ns	0.2 ns	0.1 ns	0.1 ns	2.3 ns	50 ns	53 ns
Error	68	4.2	8.9	2.7	0.2	0.0	0.3	0.4	1.0	2.6	0.6	5.3	1297	139
CV (%)		2.3	3.2	37.0	13.3	13.2	10.2	19.4	6.9	3.9	5.8	8.0	9.6	13.9
	gl	PCG	FSH	FSP	BT	BH	BE	BB	BO	BG	BTO	AP	AM	
Genotipo	34	68 *	27 *	5461 *	2349 *	147 *	4.2 *	556 *	242 *	3298 *	9333 *	1681 *	1506 *	
Bloque	2	1.6 ns	14 *	362 ns	560 ns	149 *	0.8 ns	306 ns	97 ns	56 ns	2.6 ns	806 ns	190 ns	
Error	68	4.4	4.0	712	279	15	0.4	137	39	554	2329	264	241	
CV (%)		8.6	20.2	15.1	17.3	13.8	13.9	24.2	25.9	23.9	16.1	7.9	12.3	

FV: fuente de variación, gl: grados de libertad, FM y FF: días a floración masculina y femenina, AF: asincronía floral, RG: rendimiento de grano, IC: índice de cosecha, PC y MC: número de plantas y mazorcas cosechadas por m<sup>2</sup>, LM y DM: longitud y diámetro de la mazorca, NH: número de hileras, GH: granos por hilera, NG: número de granos totales de la mazorca, PG: peso del grano total de la mazorca, PCG: peso de cien granos, FSH y FSP: forraje seco por ha y por planta, BT, BH, BE, BB, BO, BG y BTO: biomasa de tallo, hojas, espiga, brácteas, olote, grano y total, AP y AM: altura de planta y mazorca. \*: Significancia estadística (P ≤ 0.05), ns: no significativo.

**Cuadro 2. Características agronómicas de 35 genotipos de maíz evaluados en el sur de Nuevo León, México.**

Genotipo	FM	FF	AF	RG	IC	PC	MC
SJPalmar	80 mnop	86 klmno	1.5 de	6.3 a	0.37 abcdefg	6.7 a	3.7 bcdefghi
SAPNevada	92 efghij	98 defghi	6.0 bcde	5.3 ab	0.26 fghi	6.3 abcd	5.4 abc
PPinto	81 lmnop	85 lmno	4.5 bcde	5.1 abc	0.33 abcdefg	6.5 abc	3.4 bcdefghij
PBlanco	80 mnop	82 no	2.0 de	4.6 bcd	0.46 a	5.7 abcdefg	3.1 defghij
RCedillo	95 cdefg	96 defghi	1.5 de	4.6 bcd	0.34 abcdefg	6.6 abc	4.4 abcde
Carmen	85 klmno	91 ghijklmn	6.0 bcde	4.5 bcde	0.44 abc	6.0 abcdef	3.4 cdefghij
Salero	88 hijk	92 ghijklm	4.0 bcde	4.4 bcde	0.36 abcdefg	5.3 abcdefg	4.2 abcdef
SANita	96 cdefg	99 cdefgh	3.0 cde	4.3 bcde	0.29 defghi	5.2 abcdefg	3.8 bcdefgh
SJDios	76 p	80 o	5.0 bcde	4.3 bcde	0.40 abcde	5.8 abcdefg	2.1 ghij
Yerba	99 bcd	100 bcdefg	1.0 e	4.2 bcdef	0.33 abcdefg	5.7 abcdefg	4.3 abcdef
Escondida	93 defgh	96 defghij	3.0 cde	4.0 bcdefg	0.23 ghi	5.9 abcdefg	3.4 cdefghij
Catorce	86 jklm	97 defghi	11.5 a	4.0 bcdefg	0.35 abcdefg	6.6 ab	2.5 defghij
PAzul	78 op	85 lmno	7.0 abcd	4.0 bcdefg	0.31 bcdefghi	4.5 efgh	5.5 ab
Ánimas	79 nop	84 mno	5.0 bcde	3.8 cdefgh	0.34 abcdefg	6.2 abcde	4.5 abcd
PAmarillo	77 p	82 no	5.0 bcde	3.8 cdefgh	0.42 abcd	6.0 abcdef	2.7 defghij
PAnteojitos	85 klmn	89 ijklmno	3.5 bcde	3.8 cdefgh	0.36 abcdefg	5.1 abcdefg	3.0 defghij
Altitos	97 cdef	99 cdefgh	2.0 de	3.7 cdefgh	0.33 abcdefgh	6.0 abcdefg	4.1 bcdefg
Hediondilla	78 op	82 mno	4.0 bcde	3.6 cdefgh	0.38 abcdef	5.2 abcdefg	2.5 defghij
JRPinto	78 p	87 jklmno	9.0 ab	3.5 defgh	0.45 ab	6.7 a	3.4 bcdefghij
LTaberna	94 defgh	100 bcdefgh	6.0 bcde	3.4 defgh	0.29 defghi	6.0 abcdefg	4.4 abcde
SGregorio	101 bc	105 abcd	4.0 bcde	3.2 defghi	0.33 abcdefg	6.4 abc	6.4 a
Promesa	85 klmno	89 ijklmno	4.0 bcde	3.2 defghi	0.37 abcdefg	5.2 abcdefg	1.4 j
Cardona	89 ghijk	97 defghi	7.5 abc	3.2 defghij	0.19 hi	5.6 abcdefg	4.0 bcdefgh
Chazumba	91 fghijk	94 efghijkl	3.0 cde	3.1 efghij	0.31 bcdefghi	5.6 abcdefg	3.4 cdefghij
SITexas	93 efghi	95 defghijk	2.5 cde	3.0 efghij	0.34 abcdefg	4.8 cdefgh	3.4 cdefghij
Delicias	80 mnop	81 no	1.5 de	3.0 efghij	0.34 abcdefg	5.3 abcdefg	3.1 defghij
Rodeo	92 efghi	94 fghijkl	1.5 de	2.7 fghijk	0.30 cdefghi	4.8 cdefgh	3.6 bcdefghi
Sabanilla	105 ab	108 abc	3.5 bcde	2.6 ghijkl	0.28 efghi	6.1 abcdef	3.6 bcdefghi
SantaMa	99 bcde	104 bcde	5.0 bcde	2.4 hijkl	0.28 efghi	6.8 a	3.8 bcdefghi
Lagunita	78 p	83 mno	5.5 bcde	1.9 ijklm	0.31 bcdefghi	4.5 defgh	1.7 ij
Tokio	87 ijkl	90 hijklmno	3.5 bcde	1.7 jklm	0.38 abcdefg	4.1 gh	2.0 hij
GalTrini	76 p	82 mno	6.5 abcd	1.4 klm	0.40 abcde	4.1 gh	2.2 fghij
Tomates	96 cdefg	101 bcdef	6.0 bcde	1.3 klm	0.32 abcdefgh	3.0 h	2.0 hij
Camino	104 b	109 ab	5.0 bcde	1.2 lm	0.18 i	4.3 fgh	2.3 efghij
SanIsidro	111 a	114 a	3.0 cde	0.5 m	0.00 j	4.8 bcdefgh	1.4 j

**Cuadro 2. Continuación.**

Genotipo	LM	DM	NH	GH	NG	GM	PCG
SJPalmar	15.3 abcde	41 bcdefg	11 fg	31 abcdefg	331 defgh	101 abc	31 Ab
SAPNevada	16.3 abc	42 abcdef	12 defg	33 abcd	384 abcdefgh	99 abc	26 Bcdef
PPinto	14.3 abcdefg	44 abcd	14 abcd	28 bcdefghij	392 abcdefgh	100 abc	29 Abcd
PBlanco	15.0 abcdef	44 abc	15 abc	32 abcde	474 a	126 a	29 Abcd
RCedillo	15.7 abcd	43 abcde	13 cdef	31 abcdefg	393 abcdefgh	91 abc	26 Bcdefg
Carmen	13.0 defgh	40 bcdefgh	13 bcdef	27 cdefghij	342 cdefgh	84 bc	25 Bcdefg
Salero	13.3 cdefgh	42 abcdef	14 bcd	27 cdefghij	370 abcdefgh	93 abc	26 Bcdef
SAnita	17.0 a	40 bcdefgh	13 cdef	35 ab	442 abcd	102 abc	23 Defg
SJDios	13.3 cdefgh	41 bcdefg	15 abc	26 defghij	382 abcdefgh	94 abc	25 Bcdefg
Yerba	17.0 a	44 abc	13 cdef	34 abc	423 abcdef	94 abc	23 Defg
Escondida	15.7 abcd	39 defgh	12 defg	32 abcde	373 abcdefgh	74 cd	23 Defg
Catorce	15.0 abcdef	45 ab	13 bcdef	27 cdefghij	354 cdefgh	98 abc	29 Abcd
PAzul	11.0 h	39 efgh	15 abc	21 j	309 fgh	67 cde	26 Bcdef
Ánimas	11.7 gh	39 defgh	13 bcdef	25 efghij	324 efgh	83 bc	28 Abcde
PAmarillo	12.3 efgh	41 abcdefg	15 abc	23 hij	344 cdefgh	92 abc	29 Abcd
PAntejitos	16.7 ab	42 abcdef	12 defg	36 a	427 abcde	118 ab	31 Abc
Altitos	16.3 abc	44 abc	14 abcd	30 abcdefghi	418 abcdef	88 abc	25 Bcdefg
Hediondilla	14.3 abcdefg	44 abc	15 abc	31 abcdefgh	456 abc	124 a	31 Abc
JRPinto	13.3 cdefgh	43 abcde	13 bcdef	22 ij	296 h	94 abc	34 A
LTaberna	15.0 abcdef	39 cdefgh	13 bcde	31 abcdefg	415 abcdefg	79 cd	19 Ghi
SGregorio	14.3 abcdefg	36 h	10 g	34 abc	340 cdefgh	75 cd	22 Efg
Promesa	13.0 defgh	44 abcde	15 abc	27 cdefghij	410 abcdefgh	96 abc	25 Bcdefg
Cardona	13.7 bcdefgh	40 bcdefgh	15 abc	27 cdefghij	403 abcdefgh	80 cd	20 Fg
Chazumba	12.0 fgh	46 a	12 defg	26 defghij	299 gh	76 cd	28 Abcde
SITexas	15.0 abcdef	42 abcdef	14 bcd	35 ab	472 ab	85 bc	21 Efg
Delicias	12.0 fgh	41 bcdefg	14 abcd	24 fghij	346 cdefgh	79 cd	24 Cdefg
Rodeo	15.3 abcde	36 gh	11 fg	36 a	379 abcdefgh	77 cd	21 Fg
Sabanilla	16.0 abcd	39 efgh	11 efg	35 ab	378 abcdefgh	70 cde	19 Fgh
SantaMa	15.3 abcde	41 bcdefg	12 defg	31 abcdef	375 abcdefgh	69 cde	20 Fgh
Lagunita	12.0 fgh	44 abcd	16 a	24 ghij	385 abcdefgh	79 cd	24 Defg
Tokio	13.3 cdefgh	37 fgh	14 abcd	24 fghij	337 defgh	67 cde	21 Efg
GalTrini	12.0 fgh	40 bcdefgh	15 ab	23 ij	355 bcdefgh	74 cd	24 Defg
Tomates	14.3 abcdefg	43 abcde	13 bcdef	28 bcdefghij	357 bcdefgh	69 cde	21 Efg
Caminos	13.0 defgh	40 bcdefgh	15 ab	24 ghij	366 abcdefgh	43 de	13 Hi
SanIsidro	12.0 fgh	39 efgh	13 bcdef	27 cdefghij	352 cdefgh	35 e	12 I

FM y FF: días a floración masculina y femenina, AF: Asincronía floral (días), RG: rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>), PC y MC: número de plantas y mazorcas cosechadas por m<sup>2</sup>, IC: índice de cosecha, LM y DM: longitud (cm) y diámetro (mm) de la mazorca, NH: número de hileras, GH: granos por hilera, NG: número de granos totales de la mazorca, PG: peso del grano total de la mazorca (g), PCG: peso de cien granos (g). Letras distintas en las columnas indican diferencia significativa (Tukey, P ≤ 0.05) entre genotipos para cada característica.

**Cuadro 3. Rendimiento de forraje seco y sus componentes de 35 genotipos de maíz evaluados en el sur de Nuevo León, México.**

Genotipo	FSH	FSP	BT	BH	BE	BB
SantaMa	17.1 a	252 ab	141 b	33 abcdef	5.8 abc	73 ab
SanIsidro	16.1 ab	330 a	202 a	40 abc	6.1 ab	83 a
Altitos	14.6 abc	243 abc	138 bc	38 abcd	5.2 abcde	63 abcde
Catorce	14.4 abcd	218 bcd	123 bcd	41 ab	6.7 a	48 abcdef
Sabanilla	12.5 abcde	203 bcde	115 bcdef	27 cdefg	5.6 abcd	56 abcdef
RCedillo	12.4 abcde	190 bcdef	107 bcdefg	27 defgh	3.0 fgh	54 abcdef
SAPNevada	12.2 abcde	192 bcdef	103 bcdefgh	45 a	4.2 bcdefg	40 bcdef
LTaberna	11.3 abcdef	187 bcdef	94 bcdefgh	24 efghi	3.9 cdefgh	66 abcd
SJPalmar	11.3 abcdef	168 bcdefg	98 bcdefgh	30 bcdefg	5.7 abcd	35 bcdef
Ánimas	11.2 abcdef	182 bcdefg	112 bcdef	25 efghi	2.6 gh	43 bcdef
Escondida	11.2 abcdef	184 bcdefg	94 bcdefgh	21 fghi	3.7 defgh	67 abc
PPinto	11.1 abcdefg	167 bcdefg	96 bcdefgh	28 cdefg	4.2 bcdefg	39 bcdef
Chazumba	11.0 abcdefg	195 bcdef	107 bcdefg	29 bcdefg	3.4 efgh	57 abcdef
Yerba	11.0 abcdefg	193 bcdef	111 bcdef	23 efghi	5.7 abcd	54 abcdef
Carmen	10.8 abcdefgh	178 bcdefg	89 bcdefgh	25 efghi	5.7 abcd	59 abcdef
SGregorio	10.7 abcdefgh	166 bcdefg	85 cdefgh	28 cdefg	4.9 abcdef	49 abcdef
Promesa	10.6 abcdefgh	206 bcde	120 bcde	30 bcdefg	4.7 abcdef	52 abcdef
SANita	9.8 bcdefgh	190 bcdef	101 bcdefgh	23 efghi	3.2 efgh	63 abcde
PAnteojitos	9.8 bcdefgh	192 bcdef	106 bcdefg	32 bcdefg	5.6 abcd	49 abcdef
PBlanco	9.1 cdefgh	160 cdefg	78 defgh	23 efghi	5.9 ab	54 abcdef
JRPinto	9.0 cdefgh	133 defg	73 defgh	22 fghi	4.4 bcdefg	35 bcdef
Delicias	9.0 cdefgh	167 bcdefg	101 bcdefgh	22 fghi	3.5 efgh	42 bcdef
Salero	8.4 cdefgh	153 defg	71 defgh	31 bcdefg	4.2 bcdefg	47 abcdef
SITexas	8.3 cdefgh	174 bcdefg	82 defgh	38 abcd	6.1 ab	48 abcdef
Rodeo	8.0 defgh	167 bcdefg	82 defgh	35 abcde	3.8 defgh	47 abcdef
Caminos	8.0 defgh	187 bcdef	110 bcdef	32 bcdefg	4.5 bcdefg	41 bcdef
Hediondilla	7.7 efgh	152 defg	82 defgh	20 ghi	4.3 bcdefg	46 abcdef
SJDios	7.5 efgh	132 defg	73 defgh	26 defgh	3.8 defgh	29 cdef
PAmarillo	7.5 efgh	123 efg	65 fgh	13 i	3.1 fgh	42 bcdef
Lagunita	7.0 efgh	154 defg	77 defgh	32 bcdefg	3.4 efgh	42 bcdef
Cardona	6.9 efgh	122 efg	67 efgh	26 defgh	3.9 cdefgh	26 ef
PAzul	6.6 efgh	147 defg	89 bcdefgh	29 bcdefg	5.2 abcde	24 f
Tomates	5.6 fgh	184 bcdefg	89 bcdefgh	27 defgh	3.3 efgh	65 abcd
Tokio	4.6 gh	110 fg	50 h	25 efghi	1.9 h	34 cdef
GalTrini	4.3 h	100 g	54 gh	15 hi	3.1 fgh	28 def

**Cuadro 3. Continuación.**

Genotipo	BO	BG	BTO	AP	AM
SantaMa	22 abcdef	105 abcde	378 ab	2.38 abc	1.44 bcde
SanIsidro	0 g	0 f	330 abcd	2.75 a	1.97 a
Altitos	37 ab	136 abc	415 a	2.55 ab	1.77 ab
Catorce	35 abc	137 abc	390 ab	2.17 bcdefg	1.18 cde
Sabanilla	30 abcde	89 bcde	322 abcd	2.13 bcdefg	1.44 bcde
RCedillo	22 abcdef	111 abcd	322 abcd	2.30 abcde	1.38 bcde
SAPNevada	21 abcdef	76 cdef	289 abcde	2.12 bcdefg	1.31 bcde
LTaberna	31 abcde	93 abcde	311 abcde	2.26 abcdef	1.52 abc
SJPalmar	16 cdefg	108 abcde	292 abcde	1.98 cdefg	1.24 cde
Ánimas	31 abcde	109 abcd	322 abcd	2.00 cdefg	1.15 cde
Escondida	33 abcd	66 cdef	283 abcde	1.87 cdefg	1.14 cde
PPinto	27 abcdef	97 abcde	290 abcde	1.90 cdefg	1.03 cde
Chazumba	18 bcdefg	97 abcde	309 abcde	2.32 abcd	1.46 bcde
Yerba	38 a	115 abcd	346 abc	2.28 abcdef	1.51 abcd
Carmen	32 abcd	164 ab	374 ab	1.70 g	1.00 e
SGregorio	15 defg	95 abcde	276 abcde	1.77 fg	1.09 cde
Promesa	30 abcde	139 abc	374 ab	1.83 defg	0.97 e
SAnita	31 abcde	89 bcde	309 abcde	2.10 bcdefg	1.21 cde
PAnteojitos	24 abcdef	119 abcd	335 abcd	2.02 cdefg	1.16 cde
PBlanco	36 ab	168 a	364 ab	1.94 cdefg	1.14 cde
JRPinto	26 abcdef	128 abc	287 abcde	1.83 defg	1.02 de
Delicias	28 abcdef	99 abcde	293 abcde	2.02 bcdefg	1.18 cde
Salero	25 abcdef	100 abcde	278 abcde	2.11 bcdefg	1.16 cde
SITexas	25 abcdef	110 abcd	309 abcde	2.22 bcdefg	1.37 bcde
Rodeo	17 bcdefg	81 cde	264 abcde	2.14 bcdefg	1.36 bcde
Camino	15 cdefg	44 def	246 bcde	2.15 bcdefg	1.38 bcde
Hediondilla	34 abcd	116 abcd	302 abcde	2.07 bcdefg	1.39 bcde
SJDios	25 abcdef	104 abcde	261 abcde	1.93 cdefg	1.29 bcde
PAmarillo	28 abcde	112 abcd	263 abcde	1.85 defg	1.13 cde
Lagunita	21 abcdef	79 cde	253 bcde	1.78 efg	0.99 e
Cardona	8 fg	32 ef	161 e	1.78 efg	0.95 e
PAzul	14 defg	75 cdef	236 bcde	1.83 defg	1.19 cde
Tomates	32 abcd	100 abcde	315 abcde	2.15 bcdefg	1.29 bcde
Tokio	15 defg	76 cdef	200 cde	1.93 cdefg	1.19 cde
GalTrini	11 efg	77 cde	188 de	1.76 fg	1.02 de

FSH: forraje seco (t ha<sup>-1</sup>), FSP: forraje seco por planta (g), BT, BH, BE, BB, BO, BG y BTO: biomasa de tallo, hojas, espiga, brácteas, olote, grano y total (g), AP y AM: altura de planta y mazorca (m). Letras distintas en las columnas indican diferencia significativa (Tukey, P ≤ 0.05) entre genotipos para cada característica.

que tuvieron la mayor producción de forraje seco tanto por planta como por hectárea, con 252, 330 y 243 g por planta, y 17.1, 16.1 y 14.6 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 3); estos tres genotipos pertenecen al grupo de maíces con mayor altura de planta (2.38 a 2.75 m) y biomasa de hoja (33 a 40 g), espiga (5.2 a 6.1 g), brácteas (63 a 83 g) y biomasa total (de 330 a 415 g); además, igualaron o superaron la media de FSH de los maíces testigo (9.0 t ha<sup>-1</sup>), del híbrido CP-Promesa (10.6 t ha<sup>-1</sup>) y de otros maíces nativos e híbridos de México, los cuales produjeron de 3.7 a 14.8 t ha<sup>-1</sup>, y de 44 a 541 g por planta (Guerrero-Rodríguez *et al.*, 2023; Salinas-Vargas *et al.*, 2022). Los maíces SantaMa y SanIsidro además fueron de los genotipos que presentaron mayor ciclo biológico (FF entre 104 y 114 días).

Los maíces con mayor altura y ciclo biológico tienen más tiempo para acumular biomasa, y son más convenientes para producción de forraje (Conceição-dos Santos *et al.*, 2024); sin embargo, un ciclo tardío puede ser perjudicial para la producción de grano debido a la presencia de heladas, como pasó con la variedad SanIsidro, que fue la más afectada por una helada ocurrida a los 150 días después de la siembra; por ello, es conveniente sembrar estos maíces en fechas de siembra tempranas.

### Análisis de agrupamiento

El análisis de agrupamiento formó tres grupos de maíces (Figura 2), los cuales mostraron diferencias significativas en todas las variables fenotípicas medidas, excepto en la asincronía floral, el diámetro y número de granos de la mazorca (Cuadro 4). El grupo 1 estuvo constituido sólo por SanIsidro, que se caracterizó por su mayor ciclo biológico, producción de forraje seco, altura de planta y de mazorca, y biomasa de tallo, hoja, espiga y brácteas; además, este genotipo mostró menor índice de cosecha y rendimiento de grano. El grupo 2 lo formaron siete maíces, los cuales se distinguieron por tener el mayor número de hileras de granos, así como menor producción de forraje seco por planta y por hectárea, altura de planta y de mazorca, y biomasa de tallo, espiga, brácteas y total. En el grupo 3 se agruparon 27 maíces, los cuales presentaron mayor rendimiento de grano, índice de cosecha, número de plantas y de mazorcas cosechadas por m<sup>2</sup>, longitud de mazorca, peso del grano total de la mazorca, peso de cien granos, y biomasa de olote y grano. Estos resultados muestran que no existe un patrón de agrupamiento geográfico, pues el agrupamiento se debió a variables relacionadas con precocidad y producción de grano y forraje seco, lo que coincide en parte con los resultados de Contreras-Molina *et al.* (2016). Los maíces comparten características en común; por ello, se formó un bajo número de grupos. Esto podría explicarse por el intercambio de semilla que practican los agricultores, lo que provoca que los maíces

nativos de una región compartan una proporción de su fondo genético, al mismo tiempo que evolucionan por efecto de la selección de mejores semillas para diferentes condiciones de producción (Flores-Pérez *et al.*, 2015).

### Características fenotípicas útiles para medir la diversidad de maíces

La caracterización del germoplasma corresponde a uno de los primeros pasos en programas de fitomejoramiento de maíz; para ello, se deben usar caracteres eficientes para discriminar genotipos y que se asocien positivamente con la producción del órgano de interés, como el grano y forraje (Linares-Holguín *et al.*, 2019). En este estudio, las características que se asociaron positivamente con el rendimiento de grano fueron el peso del grano total de la mazorca, el peso de cien granos, el número de plantas y de mazorcas cosechadas por m<sup>2</sup> (Figura 3). Lo anterior sugiere que puede incrementarse el rendimiento de grano en maíz seleccionando genotipos con mayores valores en estas cuatro características. Por su parte, las características más asociadas positivamente con el rendimiento de forraje por hectárea fueron el forraje seco por planta, número de plantas cosechadas por m<sup>2</sup>, altura de planta y de mazorca, y biomasa de tallo, brácteas, espiga y total. Lo anterior sugiere que estos ocho caracteres se podrían usar en fitomejoramiento para aumentar la producción de forraje.

El análisis de componentes principales reveló que los primeros tres componentes explicaron el 63 % de la variación total, y catorce características fueron las que mostraron mayor poder discriminatorio (Cuadro 5). Las variables peso del grano total de la mazorca, peso de cien granos, biomasa de tallo, altura de planta, forraje seco por planta y número de plantas cosechadas se consideraron las más destacadas para estudiar la diversidad fenotípica, ya que explicaron mayor variabilidad y correlacionaron con el rendimiento de grano y forraje seco, lo que coincide en parte con los resultados de Torres-Morales *et al.* (2022).

### Relación entre variables fenotípicas y agroclimáticas del lugar de origen de los maíces nativos

El análisis de correlación de Pearson reveló asociaciones significativas entre ocho variables agroclimáticas y 13 fenotípicas (Cuadro 6); además, también se encontraron correlaciones significativas entre estas ocho variables agroclimáticas (datos no mostrados). Al respecto, los lugares con mayor altitud tienden a ser más fríos; es decir, con menor temperatura media (Tmed) y mínima (Tmin) del aire (altitud vs. Tmed = -0.78; altitud vs. Tmin = -0.37). Lugares con menor temperatura, además, tienden a mostrar menor irradiancia (Tmed vs. irradiancia descendente de onda corta = 0.42) y mayor humedad del suelo (Tmed vs.

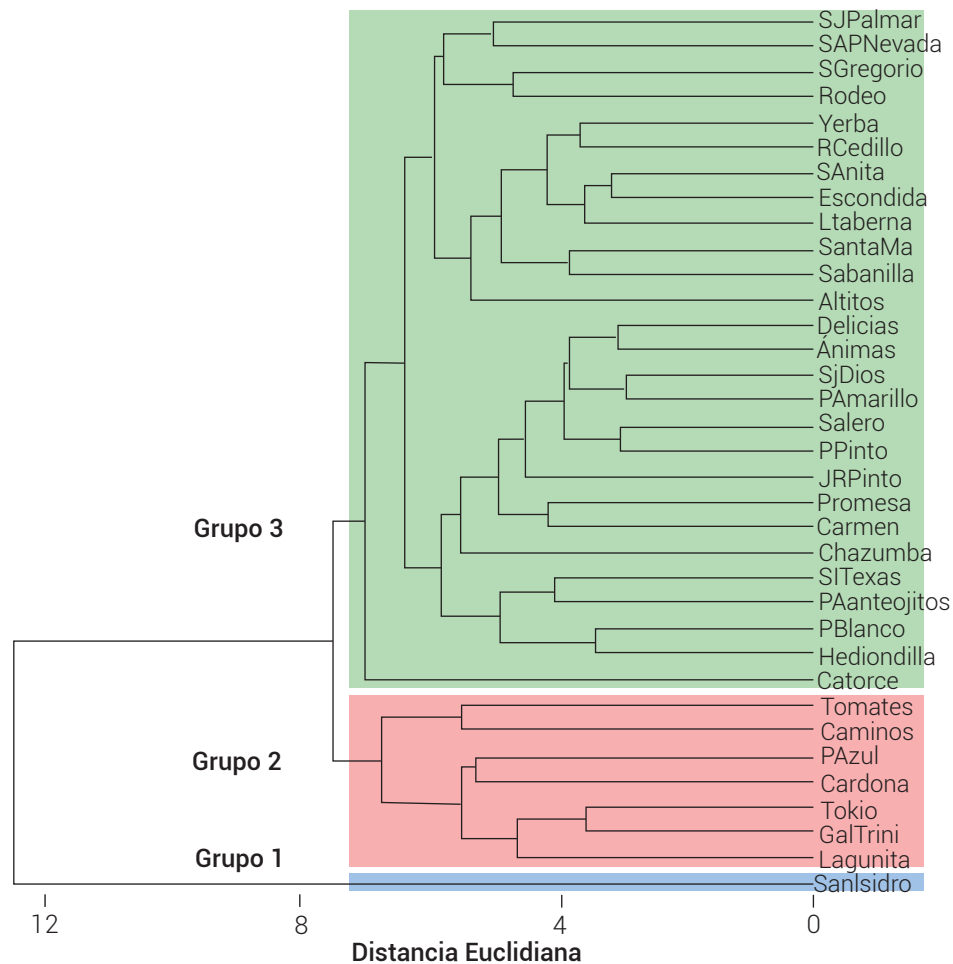


Figura 2. Agrupamiento de 35 genotipos de maíz, construido mediante el método UPGMA con distancias euclidianas derivadas de 25 variables fenotípicas. Correlación cofenética = 0.82.

Cuadro 4. Comparación de medias de características fenotípicas entre los grupos constituidos en el dendrograma de 35 maíces evaluados en el sur de Nuevo León, México.

Grupo	Característica fenotípica													
	FM	FF	AF	RG	IC	PC	MC	LM	DM	NH	GH	NG	PG	
1	111 a	114 a	3.0 a	0.5 c	0.00 c	4.8 b	1.4 b	12 b	39 a	13 b	27 ab	352 a	35 c	
2	87 b	92 b	5.9 a	2.1 b	0.30 b	4.3 b	2.8 b	12.8 b	40 a	14.9 a	24 b	359 a	68 b	
3	88 b	92 b	4.1 a	3.9 a	0.34 a	5.9 a	3.6 a	14.6 a	42 a	12.9 b	30 a	383 a	91 a	
	PCG		FSH	FSP	BT	BH	BE	BB	BO	BG	BTO	AP	AM	
1	12.3 c		16.1 a	330 a	202 a	40 a	6.1 a	83 a	0 c	0 c	330 a	2.8 a	2.0 a	
2	21.4 b		6.1 c	143 c	76 c	26 b	3.6 c	37 c	16 b	69 b	228 b	1.9 c	1.1 c	
3	25.7 a		10.7 b	180 b	98 b	28 b	4.6 b	50 b	27 a	110 a	317 a	2.1 b	1.3 b	

FM y FF: días a floración masculina y femenina, AF: asincronía floral (días), RG: rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>), IC: índice de cosecha, PC y MC: Número de plantas y mazorcas cosechadas por m<sup>2</sup>, LM y DM: Longitud (cm) y diámetro (mm) de la mazorca, NH: número de hileras, GH: granos por hilera, NG: número de granos totales de la mazorca, PG: peso del grano total de la mazorca (g), PCG: peso de cien granos (g), FSH y FSP: forraje seco por ha (t ha<sup>-1</sup>) y por planta (g), BT, BH, BE, BB, BO, BG y BTO: biomasa de tallo, hojas, espiga, brácteas, olote, grano y total (g), AP y AM: altura de planta y mazorca (m). Letras distintas indican diferencia estadística entre grupos para cada característica (DMS, P ≤ 0.05).



**Cuadro 5. Vectores y valores propios de los tres primeros componentes principales de la evaluación de 35 genotipos de maíz.**

Variable	CP1	CP2	CP3	Variable	CP1	CP2	CP3
Días a floración masculina	0.27 <sup>†</sup>	-0.18	0.14	Plantas cosechadas por m <sup>2</sup>	0.10	0.19	0.16
Días a floración femenina	0.25	-0.20	0.12	Mazorcas cosechadas por m <sup>2</sup>	0.09	0.11	0.39 <sup>†</sup>
Asincronía floral	-0.13	-0.07	-0.12	Longitud de la mazorca	0.17	0.18	0.33 <sup>†</sup>
Altura de planta	0.30 <sup>†</sup>	-0.02	-0.14	Diámetro de la mazorca	0.01	0.24	-0.30 <sup>†</sup>
Altura de mazorca	0.28 <sup>†</sup>	-0.04	-0.12	Número de hileras	-0.18	-0.02	-0.37 <sup>†</sup>
Biomasa de tallo	0.30 <sup>†</sup>	-0.05	-0.19	Granos por hilera	0.20	0.15	0.36 <sup>†</sup>
Biomasa de hoja	0.19	-0.04	-0.04	Granos totales de la mazorca	0.08	0.17	0.07
Biomasa de espiga	0.20	0.11	-0.08	Peso del grano total de la mazorca	-0.04	0.38 <sup>†</sup>	0.06
Biomasa de brácteas	0.27 <sup>†</sup>	0.05	-0.15	Peso de cien granos	-0.13	0.33 <sup>†</sup>	-0.04
Biomasa de olote	0.06	0.30 <sup>†</sup>	-0.14	Rendimiento de grano	-0.00	0.32 <sup>†</sup>	0.22
Biomasa de grano	0.00	0.36 <sup>†</sup>	-0.16	Forraje seco por hectárea	0.30 <sup>†</sup>	0.09	-0.05
Biomasa total	0.24	0.23	-0.24	Valor propio	7.89	5.60	2.36
Forraje seco por planta	0.33 <sup>†</sup>	-0.02	-0.18	Varianza explicada	0.32	0.22	0.09
Índice de cosecha	-0.18	0.28	-0.05	Varianza total acumulada	0.32	0.54	0.63

<sup>†</sup>Indica una contribución importante de la variable en el componente principal.

fenológica a otra, y dado que a mayor altitud disminuyen los GDD, entonces su fenología se retrasa. A su vez, los maíces tardíos disponen de más tiempo para acumular biomasa, la cual en parte se traslocará al grano; por ello, en general, los maíces tardíos producen más grano que los maíces precoces (Heck *et al.*, 2020). En este estudio se encontraron resultados diferentes, pues los maíces más tardíos tendieron a mostrar menor rendimiento de grano y sus componentes (Figura 3), lo que se explica por la helada que afectó a los maíces tardíos, pues se ha reportado que la helada presente en la etapa de llenado de grano afecta el peso individual de los granos y el índice de cosecha (Guo *et al.*, 2022). Los resultados, además, sugieren que la diversidad de los maíces nativos coincidió mayormente con las diferencias agroclimáticas que con distancias geográficas de los lugares de origen, lo que complementa lo reportado en trabajos anteriores (Contreras-Molina *et al.*, 2016; González *et al.*, 2013).

### CONCLUSIONES

Existe amplia diversidad fenotípica en los maíces nativos de la zona montañosa del sur de Nuevo León, México. El peso del grano total de la mazorca, peso de 100 granos, biomasa de tallo, altura de planta, forraje seco por planta y número de plantas cosechadas fueron los caracteres con mayor aportación a la variabilidad fenotípica y, además,

están asociados positivamente con el rendimiento de grano y de forraje seco. En este germoplasma existen maíces sobresalientes en producción de grano que pueden usarse *per se* o en programas de fitomejoramiento. El comportamiento de los maíces estuvo asociado mayormente con las diferencias agroclimáticas que con las distancias geográficas de los lugares de origen; en particular, estuvo asociado con la altitud, humedad del suelo, humedad relativa, irradiancia descendente de onda corta y con la temperatura mínima y media del aire. Esta información representa un apoyo en la toma de decisiones para el aprovechamiento y conservación de estos maíces nativos.

### BIBLIOGRAFÍA

- Conceição-dos Santos L. F., E. Ruíz-Sánchez, R. Garruña-Hernández and R. H. Andueza-Noh (2024) Growth and yield of tropical maize landraces and commercial genotypes in Yucatan, Mexico. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 11:e3674, <https://doi.org/10.19136/era.a11n2.3674>
- Contreras-Molina O., A. Gil-Muñoz, P. A. López, D. Reyes-López y J. D. Guerrero-Rodríguez (2016) Caracterización morfológica de maíces nativos de la Sierra Nororiental de Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 17:3633-3647.
- Di Rienzo J. A., F. Casanoves, M. Balzarini, L. González, M. Tablada y C. W. Robledo (2020) InfoStat versión 2020. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=15> (Agosto 2024).
- Flores-Pérez L., P. A. López, A. Gil-Muñoz, A. Santacruz-Varela y J. L. Chávez-Servía (2015) Variación intra-racial de maíces nativos del



- study using a multi-level perspective. *Agriculture and Human Values* 36:651-668, <https://doi.org/10.1007/s10460-019-09932-3>
- Ramírez D. J. L., V. A. Vidal M., A. Ledesma M., M. Chuela B., A. Peña R., J. A. Ruiz C. y J. Ron P. (2013) Propuesta para integrar un patrón heterótico de maíz de grano amarillo para la zona de transición de México: I. Método y formación de poblaciones. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:189-199, <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.3.189>
- Rangel-Lucio J. A., A. Santacruz-Varela, L. Córdova-Téllez, J. G. García-Rodríguez, F. Cervantes-Ortiz, H. Vaquera-Huerta y J. A. Cuenca-Salgado (2021) Adaptación y selección de maíces nativos en la región del Bajío de México por su caracterización morfológica. *Revista Fitotecnia Mexicana* 44:241-250, <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.2.241>
- R Core Team (2024) R: A language and environment for statistical computing. Version 4.4.1. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/> (August 2024).
- Ruiz C. J. A., N. Durán P., J. J. Sánchez G., J. Ron P., D. R. González E., J. B. Holland and G. Medina G. (2008) Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 Mexican maize races. *Crop Science* 48:1502-1512, <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.09.0518>
- Ruiz C. J. A., G. Medina G., J. L. Ramírez D., H. E. Flores L., G. Ramírez O., J. D. Manríquez O., ... and C. de la Mora O. (2011) Climate change and its implications in five producing areas of maize in Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Pub. Esp. 2:309-323.
- Salinas-Vargas D., M. Á. Maldonado-Peralta, A. R. Rojas-García, A. Graciano-Obeso, J. Ventura-Ríos y R. Maldonado-Peralta (2022) Evaluación de rastrojo y de grano en maíces nativos en Guasave Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13:1481-1488, <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i8.3354>
- Sánchez V. M., L. Córdova T., A. Santacruz V., F. Castillo G., M. C. Castañeda S., A. Robledo P. y A. Méndez L. (2019) Diversidad genética en accesiones de 10 razas mexicanas de maíz de altitudes intermedias. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10:253-264 <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.732>
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2023) Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Ciudad de México. [https://nube.agricultura.gob.mx/cierre\\_agricola/](https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/) (Septiembre 2024).
- Stackhouse P. (2024) The Power Project. Prediction of worldwide energy resources. National Aeronautics and Space Administration. Houston, Texas, USA. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (August 2024).
- Torres-Morales B., M. Rocandío-Rodríguez, A. Santacruz-Varela, L. Córdova-Téllez, B. Coutiño-Estrada y H. López-Sánchez (2022) Diversidad morfológica y agronómica de siete razas de maíz del estado de Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13:687-699, <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i4.2956>