



SELECCIÓN FAMILIAR DENTRO DE SEIS VARIEDADES NATIVAS DE MAÍZ

FAMILY SELECTION WITHIN SIX NATIVE MAIZE VARIETIES

Francisca Juárez-Lorenzo¹, Froylán Rincón-Sánchez^{1*}, Norma A. Ruiz-Torres²,
Adalberto Benavides-Mendoza³ y Francisco Javier Sánchez-Ramírez¹

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Departamento de Fitomejoramiento, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. ²UAAAN, Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. ³UAAAN, Departamento de Horticultura, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

*Autor de correspondencia (frincon@uaaan.edu.mx)

RESUMEN

En el sureste del estado de Coahuila, México se han identificado variedades nativas de maíz con potencial de rendimiento y características deseables que pueden ser incorporadas al mejoramiento genético. Los objetivos del presente estudio fueron estimar la respuesta a selección en rendimiento de grano, días a floración y prolificidad de seis variedades nativas de maíz después de dos ciclos de selección familiar, y describir los caracteres de mazorca y grano. El estudio consistió en la evaluación de seis variedades nativas en su versión original (O) y mejorada (M), cuatro de ellas adaptadas al área de transición-altura (JAG, CHAP, MTA y MTB) y dos de áreas intermedias (PT14R y PT14C), en dos localidades. Las variedades originales fueron sometidas a un ciclo de selección familiar de autohermanos y otro de hermanos completos. Se obtuvo información de los días a floración masculina (FM), prolificidad (PRO), rendimiento de grano (REND), longitud de mazorca (LMAZ), diámetro de mazorca (DMAZ) y olote (DOLO), número de hileras (HIL), granos por hilera (GHIL), la proporción grano-mazorca (DESG), longitud (LG), ancho (AG) y espesor (EG) del grano. En las variantes de selección (O vs M) sólo se encontraron diferencias ($P \leq 0.01$) en REND, FM y LG. En REND, en las seis variedades se obtuvo una respuesta promedio de 1.63 t ha^{-1} (18.2 %), con variación entre 8.0 y 37.4 % por ciclo de selección. En FM se obtuvo una reducción promedio de 3 d, con valores significativos entre 3 y 5 d en las variedades, excepto en PT14R, MTB y JAG, donde la madurez se mantuvo similar a las versiones originales. Los caracteres de la mazorca y grano permitieron describir las variedades en estudio, las cuales se mantuvieron sin cambio después de la selección. Se identificaron las variedades mejoradas PT14C y PT14R con potencial de rendimiento sobresaliente a través de ambientes.

Palabras clave: *Zea mays* L., diversidad genética, respuesta a la selección, selección familiar aplicada a variedades nativas.

SUMMARY

In the Southeast of the state of Coahuila, Mexico, native maize varieties with yield potential and desirable traits that can be incorporated into genetic improvement have been identified. The objectives of this study were to estimate the response to selection in grain yield, days to flowering and prolificacy of six native maize varieties after two cycles of family selection, and to describe the ear and grain traits. The study consisted of the evaluation of six native varieties in their original (O) and improved (M) versions, four of those (JAG, CHAP, MTA and MTB) adapted to the transition-highland area, and two (PT14R and PT14C) from intermediate areas, in two locations. The

original varieties were subjected to one self-family selection cycle and another of full-sib selection cycle. Information was obtained on days to male flowering (FM), prolificacy (PRO), grain yield (REND), ear length (LMAZ), ear (DMAZ) and cob (DOLO) diameter, number of kernel rows (HIL), kernels per row (GHIL), the grain-ear ratio (DESG), the length (LG), width (AG) and thickness (EG) of the kernel. In the selection variants (O vs M), differences ($P \leq 0.01$) were found only in REND, FM, and KL. In REND, an average response of 1.63 t ha^{-1} (18.2 %) was obtained for the six varieties, with variation between 8.0 and 37.4 % per selection cycle. In FM, an average reduction of 3 d was obtained, with significant values between 3 and 5 d in the varieties, except for PT14R, MTB and JAG where the maturity remained similar to the original versions. The ear and kernel traits allowed to describe the varieties under study, which remained unchanged after selection. The improved varieties PT14C and PT14R were identified with outstanding yield potential across environments.

Index words: *Zea mays* L., family selection applied to native varieties, genetic diversity, response to selection.

INTRODUCCIÓN

En el estado de Coahuila, México las siembras de maíz para grano (*Zea mays* L.) se realizan principalmente con variedades nativas. En 2023, se sembraron 15.6 mil ha de maíz para grano, el 83.9 % en el sureste del estado, y de éstas, el 90.4 % bajo condiciones de temporal (SIAP, 2023). En Coahuila, se ha documentado la diversidad del maíz con base en poblaciones representativas de ocho grupos raciales y combinaciones entre éstas, causada por la forma tradicional de intercambio de semillas entre los agricultores, dentro y entre comunidades, y a causa de la adaptación a diferentes nichos ecológicos (Rincón *et al.*, 2010). Al analizar poblaciones de maíz de diversos grupos raciales del Norte de México, Herrera-Saucedo *et al.* (2019) encontraron que, del total de la variación, el 24.4 % se debe a la variación entre poblaciones y el 75.6 % a la variación dentro de ellas, lo que representa una oportunidad para realizar selección dentro de poblaciones. A partir del estudio de la diversidad y evaluación de poblaciones de maíz, en el sureste de Coahuila se identificó un grupo de poblaciones que representan la diversidad genética y los

diferentes tipos de maíz, mismos que pueden ser utilizados en esquemas de conservación y aprovechamiento para la generación de variedades mejoradas (Rincon-Sanchez y Ruiz-Torres, 2018).

La variación genética en las variedades nativas de maíz constituye una fuente de germoplasma para identificar genotipos que permitan incrementar el rendimiento y mejorar caracteres agronómicos de interés, por lo que esta riqueza genética puede ser aprovechada en programas de mejoramiento genético para obtener variedades mejoradas y adaptadas a diversos ambientes (Liu *et al.*, 2010). En el estado de Coahuila, México se ha resaltado el potencial genético de la diversidad del maíz regional como fuente de germoplasma para ser aprovechado en esquemas de selección y desarrollo de variedades (Espinosa *et al.*, 2019; Nájera *et al.*, 2010); además, el mejoramiento de variedades nativas permitirá identificar alelos favorables con potencial de adaptación para mitigar la problemática de producción y las fluctuaciones del ambiente por efecto del cambio climático en la región de estudio. De acuerdo con Biasutti *et al.* (2021), las variedades desarrolladas a partir del aprovechamiento de la diversidad genética de variedades nativas constituyen una alternativa para alcanzar rendimientos aceptables en zonas marginales, evitando la dependencia de proveedores de semilla y disminuyendo los costos de producción de los agricultores.

Además de la identificación del germoplasma con potencial, la incorporación de genes favorables y la respuesta a la selección dependerá del esquema de mejoramiento, la presión de selección y el número de ciclos de selección aplicados (Hallauer *et al.*, 2010). Por lo anterior, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivos estimar la respuesta en el rendimiento de grano, días a floración y prolificidad de seis variedades nativas de maíz después de dos ciclos de selección familiar y describir los caracteres de la mazorca y grano en relación con la selección aplicada. El estudio se basa en el supuesto de que la selección familiar aplicada a las variedades nativas de maíz permitirá incrementar el rendimiento y mantener las características distintivas de las variedades, como una alternativa para siembras de temporal o secano en la región de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

El material genético consistió en seis variedades (VAR) nativas de maíz en su versión original (O), recolectadas en el sureste de Coahuila, México (Rincón *et al.*, 2010) y su versión mejorada (M), cuatro de la raza Cónico Norteño (JAG, CHAP, MTA y MTB) procedentes del área de

transición-altura (> 1800 msnm) y dos (PT14R y PT14C) de la raza Ratón × Olotillo y Celaya, respectivamente, de áreas intermedias (1001-1800 msnm) (Cuadro 1).

Las variedades originales forman parte del grupo representativo de la diversidad y tipos de maíces en la región identificados en el estudio de diversidad con base en los caracteres de la mazorca de las variedades de maíz recolectadas en el sureste de Coahuila (Rincon-Sanchez y Ruiz-Torres, 2018).

Esquemas de selección

En 2015, las variedades nativas (originales) fueron sometidas a esquemas de selección (SEL) familiar (Fehr, 1991). Primero, un ciclo de selección de familias de auto-hermanos (FAH), donde se establecieron 25 surcos de cada población para derivar líneas S_1 . Se realizaron entre 100 y 120 autofecundaciones por variedad y, a la cosecha, se eliminaron familias fuera de tipo con base en la forma de mazorca. En cada población se seleccionaron 60 FAH para evaluación en 2016 en la localidad El Mezquite, Galeana, Nuevo León, México en condiciones de riego. A la cosecha, se seleccionaron 12 familias por población (20 %), y se utilizó un compuesto balanceado de semilla remanente para recombinación, realizada en 2018 a través de cruza fraternal en cadena; posteriormente, en 2020, se practicó un ciclo de selección de familias de hermanos completos (FHC), donde se realizaron entre 100 y 150 cruza fraternal planta a planta (#PaP) dentro de cada una de las seis variedades; a la cosecha, se eliminaron familias fuera de tipo dejando una muestra para evaluación en 2021 de 50 FHC, excepto en las variedades CHAP y MTB, con 40 FHC. Se aplicó una presión de selección de 20 % (8 y 10 familias seleccionadas para recombinación con semilla remanente). En ambos ciclos de selección, se realizó selección visual durante el desarrollo del cultivo para tipo de planta y mazorca, y a la cosecha, con base en las medias, se eliminaron las familias más tardías para mantener la madurez promedio de las poblaciones. Las variedades originales fueron incrementadas en 2014 en la localidad El Mezquite, Galeana, Nuevo León a través de cruza fraternal planta a planta en cadena.

Evaluación agronómica

La evaluación agronómica de las variedades (O y M) se realizó en el ciclo agrícola primavera-verano de 2022, en dos fechas de siembra en dos localidades (AMB) representativas del sureste de Coahuila: El Mezquite, Galeana, Nuevo León, localizada en los límites con Coahuila, México, a 10 km de Saltillo (25° 05' 20" N; 100° 42' 32" W, a 1913 msnm) con temperatura media de 15.5 °C y precipitación media anual de 416.4 mm, y en General

Cepeda, Coahuila, México (25° 23' 01" N; 101° 27' 15" W, a 1460 msnm) con temperatura media anual de 18.4 °C y precipitación media anual de 279.9 mm).

La siembra se realizó en condiciones de riego el 7 y 14 de mayo y 5 y 11 de junio del 2022 en El Mezquite y General Cepeda, respectivamente. Los materiales genéticos fueron aleatorizados en un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 6 × 2 (Variedades × Selección) con dos repeticiones (bloques) por fecha de siembra. La unidad experimental consistió en 21 plantas en dos surcos de 4 m, a una distancia entre surco de 0.85 m y entre plantas de 0.20 m, lo que corresponde a una densidad de población de 58,824 plantas ha⁻¹.

Variables evaluadas

En cada unidad experimental se cuantificó el número de días a floración masculina (FM), número de mazorcas por planta (PRO) y se estimó el rendimiento de grano (REND) (t ha⁻¹), ajustado al 15 % de humedad. La cosecha de los experimentos se realizó el 19 de noviembre y 3 de diciembre de 2022 en las localidades General Cepeda, y El Mezquite, respectivamente. En la localidad de General Cepeda se presentaron daños severos por mapaches (*Procyon lotor*), lo que ocasionó la pérdida total de los experimentos en la primera fecha de siembra; en la segunda fecha de siembra se estimó el daño con base en el número de plantas afectadas en la parcela experimental. A la cosecha se obtuvo una muestra de grano de tres mazorcas de la unidad experimental para estimar el contenido de humedad del grano por el método de la estufa (ISTA, 2009); también, se identificaron tres mazorcas completas y representativas de cada unidad experimental para estimar los caracteres de la mazorca, usando los descriptores para maíz (IBPGR, 1991), tales como número de hileras (HIL), granos por hilera (GHIL), longitud de mazorca (LMAZ, cm), diámetro de

mazorca (DMAZ) y olote (DOLO) en cm, proporción grano-mazorca (DESG). A partir de 10 granos consecutivos de la parte central de una hilera de cada mazorca, se cuantificó la longitud (LG), ancho (AG) y espesor (EG) del grano, expresados en cm.

Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza y comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey con el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute, 2022). Se probaron los efectos de Variedades (VAR), Selección (SEL) y la interacción VAR × SEL, y las interacciones de éstas y los efectos principales con los ambientes de evaluación. La comparación de medias entre variantes de la selección (M-O) por variedad se realizó con la estimación de la combinación lineal $K' b$ a través de ambientes y VAR × AMB, y la prueba de hipótesis $F = CM(K' b)/CME$, donde K es el vector que establece la combinación M-O, b el vector de estimadores asociado a los efectos fijos, y CME el estimador de la σ_e^2 . Se realizó un análisis de la interacción variedades × caracteres de estudio a través de ambientes, basado en el análisis de componentes principales (Yan, 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza de los caracteres estudiados se presentan en el Cuadro 2. Entre los ambientes (AMB) se encontraron diferencias estadísticas en el rendimiento en grano ($P \leq 0.05$), floración masculina, diámetro de mazorca y longitud de grano ($P \leq 0.01$), debido a que los sitios tienen diferente altitud, temperatura y precipitación. En 2022, en el estado de Coahuila se registraron precipitaciones por debajo de la media (261.4 mm), asignándose las categorías de sequía moderada y severa para las localidades de El Mezquite, Galeana, Nuevo León y General Cepeda, Coahuila, respectivamente

Cuadro 1. Características de las variedades nativas de maíz del sureste de Coahuila incluidas en el estudio.

Identificador	Color de grano	Raza	Municipio	Localidad	Altitud (msnm)
PT14C	Blanco cremoso	Celaya	General Cepeda	Porvenir de Tacubaya	1556
JAG	Blanco cremoso	Cónico Norteño	Saltillo	El Jagüey de Ferniza	2089
MTB	Blanco cremoso	Cónico Norteño	Arteaga	Mesa de las Tablas	2557
MTA	Amarillo	Cónico Norteño	Arteaga	Mesa de las Tablas	2557
CHAP	Blanco cremoso	Cónico Norteño	Arteaga	Chapultepec	2053
PT14R	Blanco cremoso	Ratón × Olotillo	General Cepeda	Porvenir de Tacubaya	1556

(CONAGUA, 2022). En la localidad de General Cepeda, además de las condiciones de sequía durante el ciclo agrícola, se presentaron problemas de daño a las líneas de riego por la presencia de mapaches, dañando también plantas en algunas de las unidades experimentales y la pérdida total del experimento en la primera fecha de siembra. Entre variedades (VAR) se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) en todos los caracteres evaluados, excepto en el diámetro de mazorca (DMAZ) ($P \leq 0.05$), debido al área de procedencia y variantes en los grupos raciales y su área de adaptación (transición-altura e intermedias) (Cuadro 1). En las variantes de selección (SEL), variedades originales vs mejoradas (O vs M), se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en REND, FM, y LG, lo que puede explicarse al considerar el cambio por efecto del mejoramiento genético en los dos ciclos de selección.

En los efectos de la interacción (VAR $\times$ SEL) se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) en GHIL, AG y DESG, y diferencias ($P \leq 0.05$) en FM y PRO, lo que indica el comportamiento relativo de las diferencias en la respuesta a la selección en las variedades nativas. En el caso de la interacción Variedades $\times$ Ambientes (VAR $\times$ AMB) se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) sólo en FM, y significativas ($P \leq 0.05$) en REND GHIL, LMAZ y AG, como respuesta diferencial de las variedades en los ambientes de evaluación; sin embargo, en los caracteres de la mazorca y grano, en general, las variedades nativas no fueron afectadas por los ambientes de evaluación en este estudio. La interacción Selección $\times$ Ambientes (SEL $\times$ AMB) mostró diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en REND y diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en LG, debido a que las versiones mejoradas tienden a responder de manera diferente en los ambientes de evaluación en estos caracteres.

Las diferencias significativas entre Variedades $\times$ Variantes de la selección (SEL) (O vs M) en los ambientes (AMB) de evaluación se puede analizar a través del rendimiento de grano y floración masculina en las variedades (Figura 1).

La diferencia en REND de las variantes en la selección (SEL) (Originales vs Mejorados) es evidente en el ambiente El Mezquite (MEZ), considerado bajo las condiciones de la presente evaluación como un ambiente favorable, en comparación con el ambiente de General Cepeda (GC), el cual se considera como un ambiente de estrés por las diferencias en temperatura y precipitación; además, por el periodo de sequía en los meses de junio a septiembre, etapa crítica en el desarrollo del cultivo y a la presencia de daño a plantas por mapaches. En GC, las variedades mejoradas fueron superiores en rendimiento a las variedades originales, excepto en las variedades PT14C y PT14R;

sin embargo, las diferencias no fueron significativas; es decir, no se presentó evidencia del efecto de la selección en las variedades de estudio. Lo contrario sucedió en el ambiente de MEZ, donde las diferencias significativas entre las variedades mejoradas vs originales fueron del orden de 1.47* (MTB) a 4.02** t ha⁻¹ (CHAP) (Figura 1), lo que evidencia un efecto positivo en el REND por los dos ciclos de selección aplicados a variedades nativas.

En FM, las diferencias entre VAR, la selección (SEL) aplicada, y la interacción con los ambientes (AMB) de evaluación (Cuadro 2) se muestran como una tendencia a disminuir los días a madurez en las variedades mejoradas (Figura 1). En GC, las diferencias entre variantes de selección (M vs O) fueron del orden de -1.0 (PT14R) a -5.5 ** d (CHAP), con una diferencia promedio de cuatro días entre las variedades de áreas intermedias (PT14C y PT14R) y las variedades de transición-altura. En la localidad MEZ, las diferencias entre variantes de selección (M vs O) fueron del orden de -0.5 (JAG) a -5.5 ** d (CHAP), donde la diferencia promedio entre las de transición-altura y las de áreas intermedias fue de 10.0 días. La magnitud de las diferencias en las respuestas en rendimiento de grano y días a madurez después de la aplicación de un ciclo de selección de familias de auto-hermanos, seguido de un ciclo de selección de hermanos completos (Figura 1), indica la presencia de variación entre y dentro de las variedades nativas en estudio y, por lo tanto, la respuesta a la selección diferenciada.

Respuesta en rendimiento de grano

La selección aplicada a las variedades nativas tuvo un efecto significativo ($P \leq 0.01$) en rendimiento de grano y floración masculina (Cuadro 2). El análisis comparativo del efecto de la selección en las variedades nativas se realizó con base en el rendimiento de grano promedio a través de los ambientes de evaluación, y se incluye la floración masculina y el número de mazorcas por planta por considerarse caracteres de interés. Las medias de rendimiento de grano y caracteres agronómicos de estudio entre variedades se presentan en el Cuadro 3.

En la comparación relativa de las versiones mejoradas vs originales, en las seis variedades evaluadas se obtuvo una respuesta en rendimiento de grano promedio de 1.63 t ha⁻¹ (18.2 % por ciclo de selección), con variación de 0.84 (JAG) a 2.73 t ha⁻¹ (CHAP), equivalente a 8.0 y 37.4 % por ciclo de selección, respectivamente. Las diferencias en las respuestas se atribuyen a la selección de familias con base en el tipo de mazorca y en la presión de selección en la evaluación del rendimiento de grano en los dos ciclos de selección (familias de auto-hermanos y hermanos

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza de las variables agronómicas y caracteres de la mazorca y grano de las seis variedades nativas en su versión original y mejorado, evaluadas en el 2022.

FV	Caracteres agronómicos				Caracteres de la mazorca						Caracteres del grano			
	GL REND (t ha ⁻¹)	FM (d)	PRO	GL HIL	GHIL	LMAZ (cm)	DMAZ (cm)	DOLO (cm)	DESG	LG (cm)	AG (cm)	EG (cm)		
Ambientes (AMB)	1	59.05 *	14,420.01 **	0.11	1	21.78	215.11	34.17	0.63**	0.028	0.001	0.07**	0.018	0.000
Bloques / AMB	4	4.58 **	15.35 *	0.02 *	4	10.14 *	37.42	11.25**	0.04	0.111	0.002**	0.01	0.009	0.003 *
Variedades (VAR)	5	23.56 **	171.04 **	0.04**	5	41.69**	454.89 **	40.99**	0.21 *	0.510 **	0.002**	0.05**	0.095**	0.008**
Selección (SEL)	1	28.29**	101.67 **	0.00	1	2.78	12.25	0.03	0.07	0.140	0.000	0.13**	0.009	0.003
VAR × SEL	5	0.54	13.94 *	0.02 *	5	6.19	78.23**	3.68	0.18	0.097	0.003**	0.01	0.015**	0.002
VAR × AMB	5	2.24 *	37.71 **	0.00	5	6.19	45.81 *	5.54 *	0.13	0.055	0.001	0.02	0.014 *	0.001
SEL × AMB	1	13.42**	0.56	0.02	1	1.78	4.00	0.26	0.05	0.004	0.000	0.04 *	0.011	0.002
VAR × SEL × AMB	5	1.68	0.50	0.01	5	2.69	60.43**	2.25	0.16	0.101	0.001 *	0.01	0.003	0.001
Error	44	0.71	4.54	0.01	44	3.08	17.05	2.11	0.09	0.057	0.000	0.01	0.005	0.001
CV (%)	14.08	2.49	7.27	12.39	12.59	9.54	6.94	10.522	2.584	7.64	8.340	8.795		

*, **: significativo a P ≤ 0.05 y 0.01 respectivamente, FV: fuentes de variación, GL: grados de libertad, REND: rendimiento de grano, FM: floración masculina, PRO: prolificidad (mazorcas por planta), HIL: número de hileras, GHIL: número de granos por hilera, LMAZ: longitud de mazorca, DMAZ: diámetro de mazorca, DOLO: diámetro del olate, DESG: proporción grano/mazorca, LG: longitud de grano, AG: ancho de grano, EG: espesor de grano, CV: coeficiente de variación.

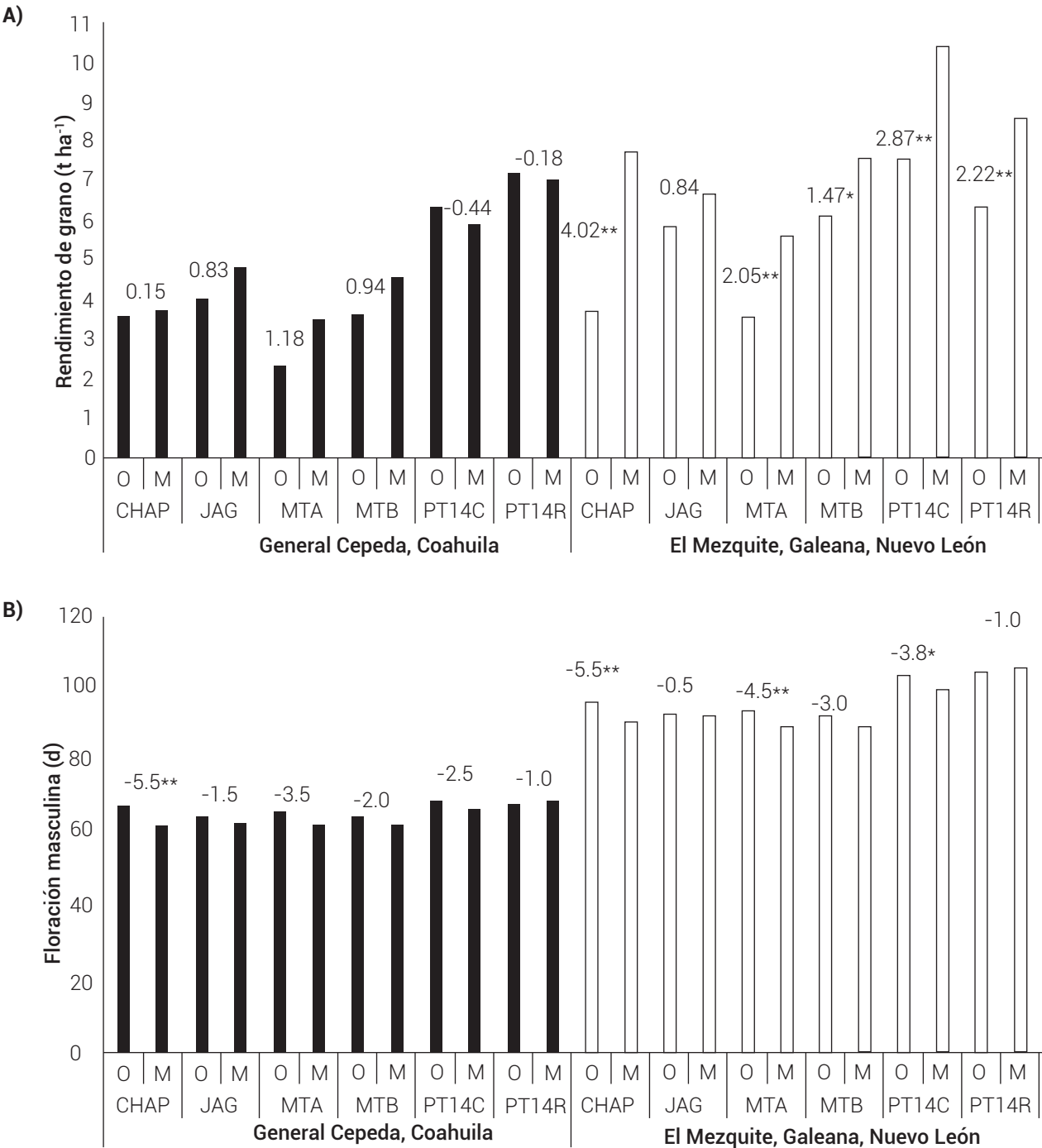


Figura 1. Interacción Variedades × Selección × Ambientes en el rendimiento de grano (A) y floración masculina (B) evaluados en 2022; O y M, versiones original y mejorado, respectivamente; CHAP, JAG, MTA, MTB, PT14C y PT14R son las variedades nativas en estudio; los valores entre O y M indican la diferencia (M – O); *, **: significativo $P \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente.

Cuadro 3. Medias de rendimiento de grano a través de ambientes de las variedades nativas mejoradas con respecto a la variedad original, evaluadas en 2022.

	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)			Floración masculina (d)			Prolificidad (mazorcas por planta)		
	O	M	M-O	O	M	M-O	O	M	M-O
PT14C	7.13 a [†]	8.90 a	1.77 **	91.7 a	88.3 b	-3.33 *	1.04 a	1.12 ab	0.08
PT14R	6.62 a	8.05 ab	1.42 *	92.0 a	93.0 a	1.00	1.07 a	1.19 a	0.12 *
MTB	5.26 b	6.56 bc	1.30 *	82.8 b	80.2 c	-2.67	1.03 a	0.97 c	-0.05
JAG	5.21 b	6.04 cd	0.84	83.2 b	82.3 c	-0.83	1.02 a	1.06 bc	0.04
CHAP	3.65 c	6.38 cd	2.73 **	86.3 b	80.8 c	-5.50 **	1.11 a	1.02 bc	-0.09 *
MTA	3.12 c	4.88 d	1.76 **	84.3 b	80.2 c	-4.17 **	0.98 a	0.96 c	-0.02
Medias	5.17	6.80	1.63	86.7	84.1	-2.58	1.04	1.05	0.01
DHS	1.00	1.63		4.2	3.6		0.16	0.12	

*, **: significativo a $P \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente, O y M: versión original y mejorada de la variedad, M-O: diferencia entre variedades mejoradas y originales. [†]Letras iguales en la columna son estadísticamente iguales; DHS: diferencia honesta significativa (Tukey, $P \leq 0.05$).

completos). De las variedades estudiadas, sólo en la variedad JAG no se obtuvo respuesta significativa en la selección familiar aplicada; sin embargo, se obtuvo una respuesta de 8.0 % en el rendimiento de grano por ciclo de selección. Por otro lado, las variedades que presentaron mayor respuesta relativa en REND fueron MTA y CHAP (28.2 y 37.4 % por ciclo de selección, respectivamente), son también las variedades donde se redujo la madurez en cuatro y seis días en las versiones mejoradas. MTA y CHAP son variedades de bajo rendimiento de grano, adaptadas a áreas de transición-altura; sin embargo, la presión de selección permitió identificar familias sobresalientes, lo que se refleja en la respuesta a la selección.

Las variedades adaptadas a áreas intermedias (PT14C y PT14R) obtuvieron rendimientos superiores comparadas con las variedades de transición-altura, con una respuesta de 12.4 y 10.7 % por ciclo de selección. La variedad PT14R tiene alto potencial de rendimiento, tanto en su versión original como en la mejorada (6.62 y 8.05 t ha⁻¹, respectivamente), cuenta además con una respuesta significativa de 5.4 % por ciclo de selección en prolificidad, y mantiene los días a madurez sin cambio.

Las variedades nativas son poblaciones heterogéneas, heterocigotas; la variación dentro de ellas, además de las características intrínsecas, se explica por la infiltración génica de otras variedades, consecuencia del intercambio de semilla entre agricultores, lo que se manifiesta en combinaciones interraciales, y a la adaptación a sitios específicos (Rincón *et al.*, 2010). En el análisis de la diversidad de los maíces de Coahuila, Rincón y Ruiz (2018)

reportaron que en el 16.4 % de las poblaciones estudiadas se encontró infiltración génica de otras poblaciones de diferente grupo racial. La importancia de esta diversidad ha sido documentada a través de estudios genéticos de poblaciones de diversos grupos raciales, donde se señala que, del total de la variación estudiada, el 75.6 % corresponde a la variación dentro de ellas, lo que representa una oportunidad para realizar selección (Herrera-Saucedo *et al.*, 2019).

Hallauer *et al.* (2010) señalaron que la respuesta a la selección depende de la varianza aditiva del carácter de interés en la población base, del tamaño de muestra, la intensidad de selección y la unidad de selección y recombinación. En un análisis de los métodos de selección recurrente en maíz, Rodríguez y Hallauer (1988) reportaron una respuesta a la selección promedio por ciclo de 217 kg ha⁻¹ en la selección familiar de líneas S₁, con variación de 9.5 a 31.9 %, en función del tipo población base estudiado.

Díaz-Ramírez *et al.* (2021) señalaron que la selección familiar de líneas S₁ fue efectiva para incrementar el rendimiento de grano en dos poblaciones base después de seis y cinco ciclos de selección, con respuesta positiva de 0.3 y 0.6 t ha⁻¹ por ciclo de selección para la población blanca y amarilla, respectivamente (7.1 y 16.8 % de respuesta total en ambas poblaciones). Después de tres ciclos de selección familiar de líneas S₁ en poblaciones nativas de maíz, Ordás *et al.* (2023) reportaron ganancias de 214 kg ha⁻¹ (3.7 %) y de 631 kg ha⁻¹ (21.1 %) por ciclo en dos poblaciones con respuesta favorable a la selección.

Coutiño *et al.* (2008), al realizar selección entre y dentro de familias de hermanos completos en variedades mejoradas comerciales de maíz, reportaron incrementos de 3.0 a 5.2 % por ciclo de selección en el rendimiento de grano en tres ciclos de selección, con una intensidad de selección del 20 %. En el presente estudio, también se aplicó una intensidad de selección del 20.0 %, con variación en el número de familias, debido a que se realizó selección visual previa a la evaluación con base en el tipo de mazorca. Se obtuvieron respuestas en el rendimiento de grano en las variedades de 8.0 al 37.4 % por ciclo de selección, considerando los dos métodos de selección familiar (auto-hermanos y hermanos completos).

En relación con la floración masculina, en la comparación de las variedades mejoradas con las versiones originales se obtuvo una reducción promedio de 3 d, con valores significativos de 3, 4 y 5 d en las variedades PT14C, MTA y CHAP, respectivamente. Por otro lado, en las variedades PT14R, MTB y JAG la madurez se mantuvo similar a las versiones originales (Cuadro 3). Con respecto al número de mazorcas por planta (PRO), el efecto de la selección (O vs M), no fue significativo (Cuadro 2); sin embargo, de manera particular, en la variedad PT14R se encontró una diferencia ($P \leq 0.05$), como expresión del incremento en la respuesta a la selección de 0.12 mazorcas por planta (5.4 % por ciclo de selección), lo que indica que la selección modifica las frecuencias alélicas en la dirección deseada, principalmente en rendimiento de grano y su asociación con otros caracteres agronómicos (Hallauer *et al.*, 2010). Las variaciones en el porcentaje de ganancia de las variedades estudiadas con respecto al rendimiento en grano, floración masculina y prolificidad se atribuye a la variabilidad que presentan los maíces nativos, que al ser sometidos a selección en los primeros ciclos se obtienen ganancias significativas, experiencias análogas han sido señaladas por Coutiño *et al.* (2008).

El comportamiento promedio de las variedades nativas mejoradas indica que las variedades adaptadas a áreas intermedias (PT14C y PT14R) obtuvieron rendimientos superiores de 8.9 y 8.0 t ha⁻¹, con 7 d en promedio más tardías, en comparación con las variedades adaptadas a áreas de transición-altura, con una variación en éstas en rendimiento de grano de 4.88 a 6.56 t ha⁻¹.

La selección (SEL) aplicada a las variedades no tuvo efectos en los caracteres de la mazorca y grano, excepto en longitud de grano ($P \leq 0.01$); sin embargo, se presentó diferencia ($P \leq 0.01$) en la interacción VAR $\times$ SEL en el número de granos por hilera (GHIL), AG y DESG.

El Cuadro 4 presenta la comparación relativa de las variedades originales y mejoradas en relación con el

rendimiento de grano y los caracteres de la mazorca y grano.

Las variedades de las razas Celaya y Ratón $\times$ Olotillo, adaptadas a áreas intermedias (PT14C y PT14R) fueron superiores en rendimiento de grano, longitud de mazorca y número de granos por hileras, comparadas con las variedades de la raza Cónico Norteño, adaptadas a transición-altura (MTB, MTA, JAG, CHAP); en general, estas últimas cuentan con mayor número de hileras de la mazorca, longitud y espesor de grano (Cuadro 4), características de los grupos raciales adaptados a áreas intermedias (Tuxpeño, Tuxpeño Norteño, Ratón) de mazorca del tipo cilíndrica y cónica cilíndrica, y las de áreas de transición-altura (Cónico Norteño, Elotes Cónicos), de tipo de mazorca cónica (Rincón *et al.*, 2010).

En general, las versiones mejoradas de las variedades mantuvieron las características de la mazorca y grano de las variedades originales, debido a que en el proceso de selección se trató de mantener los tipos de mazorcas representativas de cada variedad y aplicar el criterio de selección solamente para el rendimiento de grano, con énfasis en la madurez y selección visual para tipo de planta. La variación promedio que se nota en el Cuadro 4, tanto en las variedades originales como en las mejoradas, se atribuye a la variación intrínseca entre y dentro de las variedades.

La información que se presenta en el Cuadro 4 describe, de manera general, las características promedio de la mazorca y grano de las variedades nativas sometidas a mejoramiento genético. En longitud de mazorca, granos por hilera y ancho de grano se encontró significancia estadística ($P \leq 0.05$) en variedades $\times$ ambientes (Cuadro 2); sin embargo, los valores promedio y la comparación de medias dentro de las variantes (M vs O) proporcionan evidencia de la variación entre y dentro de las variedades, y en algunos casos, los cambios asociados al proceso de selección.

Un análisis de la interacción de las variedades originales y mejoradas con los caracteres en estudio se presenta a través de una gráfica de dispersión basado en análisis de componentes principales (Figura 2).

La Figura 2 explica el 80.3 % de la variación acumulada en los caracteres en estudio con base en los dos primeros componentes principales (PC1 y PC2) con 60.0 y 20.3 %, respectivamente. En esta figura, además de explorar la comparación relativa entre variedades, se puede analizar la relación entre los caracteres y la interacción variedades $\times$ caracteres, y de esta manera, las características particulares entre variedades (Yan, 2014). En el eje de la

Cuadro 4. Medias de rendimiento de grano y características de la mazorca y grano de las variedades nativas en su versión original y mejorada evaluadas en 2022.

	REND (t ha ⁻¹)	Características de mazorca						Características de grano		
		HIL	GHIL	LMAZ (cm)	DMAZ (cm)	DOLO (cm)	DESG	LG (cm)	AG (cm)	EG (cm)
Variedades originales										
PT14C	7.13 a	12.3b	36.6 a	17.1 a	4.22 a	2.42 a	0.85 b	1.24 b	0.94 a	0.39 a
PT14R	6.62 a	12.8b	36.7 a	16.5 a	4.17 a	2.36 a	0.85 b	1.22 b	0.88 a	0.37 a
MTB	5.26 b	15.8 a	29.5b	13.9 b	4.39 a	2.19 ab	0.86 ab	1.35 a	0.76 b	0.39 a
JAG	5.21 b	14.9 a	30.3b	14.6 b	4.44 a	2.25 ab	0.86 ab	1.34 a	0.80 b	0.40 a
CHAP	3.65 c	14.9 a	31.8b	14.8 b	4.36 a	2.01 b	0.88 a	1.41 a	0.76 b	0.38 a
MTA	3.12 c	14.0 ab	30.7 b	14.7 b	4.32 a	2.19 ab	0.86 ab	1.33 ab	0.80 b	0.40 a
Media	5.17	14.1	32.6	15.2	4.31	2.24	0.86	1.31	0.82	0.39
DHS	1.22	1.8	4.4	1.6	0.34	0.27	0.03	0.11	0.07	0.04
Variedades mejoradas										
PT14C	8.90 a	13.3 c	34.9 b	16.4 ab	4.33 a	2.55 a	0.83 c	1.20 b	0.89 a	0.38 b
PT14R	8.05 ab	13.3 c	41.1 a	16.9 a	4.17 a	2.20 bc	0.86 b	1.23 ab	0.83 ab	0.36 b
MTB	6.56 bc	15.8 ab	34.1 b	14.7 c	4.30 a	2.16 c	0.88 a	1.32 ab	0.74 c	0.37 b
CHAP	6.38 cd	13.8 c	31.0 bc	15.1 bc	4.18 a	2.19 bc	0.86 b	1.29 ab	0.83 ab	0.38 b
JAG	6.04 cd	15.6 ab	29.4 c	14.2 c	4.40 a	2.36 ab	0.86 b	1.30 ab	0.77 bc	0.39 b
MTA	4.88 d	13.9 bc	27.5 c	14.1 c	4.35 a	2.36 abc	0.86 b	1.29 ab	0.84 ab	0.42 a
Media	6.80	14.3	33.0	15.2	4.29	2.30	0.86	1.27	0.82	0.38
DHS	1.63	1.8	4.2	1.5	0.27	0.21	0.02	0.10	0.07	0.03

REND: rendimiento de grano, HIL: número de hileras en la mazorca, GHIL: número de granos por hilera, LMAZ: longitud de mazorca, DMAZ: diámetro de la mazorca, DOLO: diámetro del olote, DESG: porcentaje de grano en la mazorca, LG: longitud de grano, AG: ancho de grano, EG: espesor de grano, DHS: diferencia honesta significativa (Tukey, $P \leq 0.05$).

abscisa (Cuadrantes I y IV) se identifica el rendimiento de grano, asociado positivamente con PRO, FM, LMAZ y GHIL; asociado a estos caracteres se identifica, con valores positivos a las variedades PT14C y PT14R con rendimientos superiores, adaptadas a áreas intermedias, en tanto que las de menor rendimiento, las variedades de transición-altura (JAG, CHAP, MTA y MTB) se encuentran en los Cuadrantes II y III, cuya diferencia promedio en rendimiento es de 2.5 t ha⁻¹ (Cuadro 4); es decir, las variedades PT14C y PT14R se caracterizan por presentar buen potencial de rendimiento de grano (REND), con plantas prolíficas (PRO), son variedades más tardías, con mayor diámetro de olote (DOLO), longitud de mazorca (LMAZ) y número de granos por hilera (GHIL), e inversamente correlacionadas con el

número de hileras (HIL), longitud (LG), espesor (EG) de grano y diámetro de mazorca (DMAZ), características que corresponden a las variedades procedentes de transición-altura (JAG, CHAP, MTA y MTB), resultados que se pueden verificar en el Cuadro 4. El número de hileras (HIL) en la mazorca, el diámetro del olote (DOLO) y la proporción grano/mazorca (DESG) son caracteres de utilidad para descripción de las variedades debido a que son menos influenciados por el ambiente, como se encontró en este estudio (Cuadro 2), el resto de los caracteres en el Cuadro 4, por lo general, son influenciados por el ambiente de evaluación (Olvera-Aguilar *et al.*, 2023).

En la evaluación de poblaciones adaptadas a valles

A partir de la Figura 2 se pueden dilucidar las modificaciones en las variedades por efecto de la selección (O vs M) como la distancia relativa entre las versiones originales y las mejoradas; por ejemplo, en las variedades MTA, CHAP y PT14R la distancia relativa con sus versiones mejoradas (MTA_M, CHAP_M y PT14R_M) es superior al resto de las variedades, cuya ubicación en la figura indica la asociación con los caracteres estudiados.

En general, se encontró una respuesta positiva y significativa en el rendimiento de grano de las variedades mejoradas en relación con las versiones originales, excepto en la variedad JAG (Cuadro 3), y se mantienen las características de la mazorca y grano que las diferencian. Las variedades mejoradas representan parte de la diversidad de los maíces adaptados a las condiciones del sureste de Coahuila, México (Rincón y Ruiz, 2018); por lo tanto, pueden ser una alternativa de uso en programas de conservación y aprovechamiento de la diversidad del maíz en la región. En un estudio de variedades compuestas a partir de variedades nativas, Del Carmen-Bravo *et al.* (2022) señalaron que éstas mantuvieron y compartieron atributos favorables de las poblaciones progenitoras y las superaron en rendimiento, con valores de entre 1.8 y 10.6 % (promedio de los ciclos de recombinación), lo cual representa una oportunidad para aprovechar el potencial genético de los maíces nativos.

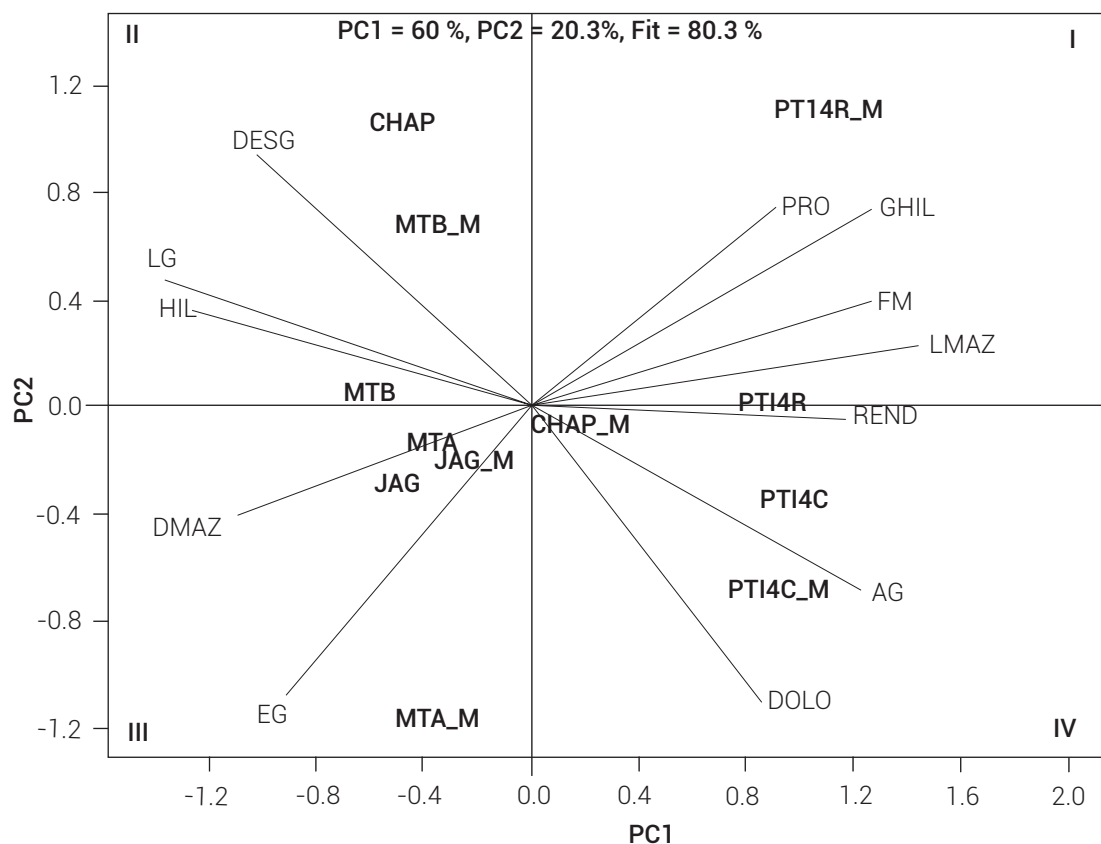


Figura 2. Dispersión gráfica de la interacción variedades × caracteres en la evaluación de variedades en sus versiones original (CHAP, JAG, MTA, MTB, PT14C Y PT14R) y mejoradas (CHAP_M, JAG_M, M TA_M, MTB_M, PT14C_M Y PT14R_M). REND: rendimiento de grano, PRO: número de mazorcas por planta, FM: floración masculina, HIL: número de hileras en la mazorca, GHIL: número de granos por hilera, LMAZ: longitud de mazorca, DMAZ: diámetro de la mazorca, DOLO: diámetro del olote, DESG: porcentaje de grano en la mazorca, LG: longitud de grano, AG: ancho de grano, EG: espesor de grano.

CONCLUSIONES

Después de dos ciclos de selección aplicada a las variedades nativas se obtuvo una respuesta promedio de 1.63 t ha⁻¹ (18.2 % por ciclo de selección), con una amplitud de 8.0 a 37.4 % por ciclo de selección en rendimiento de grano, la cual depende de la variación entre y dentro de las variedades. Los caracteres de la mazorca y grano permitieron describir las variedades en estudio, las cuales se mantuvieron sin cambio después del proceso de selección. Se identificaron las variedades mejoradas PT14C y PT14R de áreas de adaptación intermedias con potencial de rendimiento sobresaliente a través de ambientes como alternativa de aprovechamiento de la diversidad del maíz.

BIBLIOGRAFÍA

- Biasutti C. A., N. Bongianino y M. V. de la Torre (2021) Nuevas variedades de maíz (*Zea mays* L.) para la zona semiárida de la provincia de Córdoba, Argentina. *Agriscientia* 38:111-116, <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v38.n1.32098>
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2022) Resúmenes mensuales de lluvia y temperatura. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México, México. <https://smn.conagua.gob.mx/es/> (Diciembre 2024).
- Coutiño E. B., G. Sánchez G. y V. A. Vidal M. (2008) Selección entre y dentro de familias de hermanos completos de maíz en Chiapas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31:115-123, <https://doi.org/10.35196/rfm.2008.2.115>
- Del Carmen-Bravo G., A. Gil-Muñoz, P. A. López, D. Reyes-López e I. Ocampo-Fletes (2022) Variedades compuestas, una opción de aprovechamiento de la diversidad de las poblaciones nativas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 45:3-12, <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.1.3>
- Díaz-Ramírez G., C. De León-García de Alba, D. Nieto-Ángel and M. C. Mendoza-Castillo (2021) Gains in recurrent selection cycles for grain yield and resistance to head smut in maize. *Revista Mexicana de Fitopatología* 39:61-74, <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2008-1>
- Espinosa T. L. C., F. Rincón S., N. A. Ruíz T., J. M. Martínez R. y A. Benavides M. (2019) Respuesta ambiental de poblaciones nativas de maíz del sureste de Coahuila, México. *Nova Scientia* 11:108-125, <https://doi.org/10.21640/ns.v11i23.1931>
- Fehr W. R. (1991) Principles of Cultivar Development: Theory and Technique. Vol. 1. Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA. 536 p.
- Hallauer A. R., M. J. Carena and J. B. Miranda Filho (2010) Quantitative Genetics in Maize Breeding. Handbook of Plant Breeding. Springer Science and Business Media. New York, USA. 663 p, <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0766-0>
- Herrera-Saucedo V., A. Santacruz-Varela, M. Rocandio-Rodríguez, L. Córdova-Téllez, Y. R. Moreno-Ramírez y C. A. Hernández-Galeno (2019) Diversidad genética de maíces nativos del norte de México analizada mediante microsatélites. *Agrociencia* 53:535-548.
- IBPGR, International Board for Plant Genetic Resources (1991) Descriptors for Maize. International Maize and Wheat Improvement Center. Mexico City/International Board for Plant Genetic Resources, Rome, Italy. 88 p.
- ISTA, The International Seed Testing Association (2009) International Rules for Seed Testing. The International Seed Testing Association. Bassersdorf, Switzerland.
- Liu Z. Z., R. H. Guo, J. R. Zhao, Y. L. Cai, F. G. Wang, M. J. Cao, ... and L. I. Yu (2010) Analysis of genetic diversity and population structure of maize landraces from the south maize region of China. *Agricultural Sciences in China* 9:9:1251-1262, [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(09\)60214-5](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60214-5)
- Nájera C. L. A., F. Rincón S., N. A. Ruíz T. y F. Castillo G. (2010) Potencial de rendimiento de poblaciones criollas de maíz de Coahuila, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(Esp. 4):31-36, https://doi.org/10.35196/rfm.2010.Especial_4.31
- Olvera-Aguilar D. M., F. Rincón-Sánchez, N. A. Ruiz-Torres, J. M. Martínez-Reyna and C. D. Petrolí-Leguiza (2023) Morphological characterization of native maize populations of the Ratón race from Coahuila, Mexico. *Agrociencia* 57:1-14, <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v57i5.2834>
- Ordás B., R. A. Malvar, P. Revilla, and A. Ordás (2023) Effect of three cycles of recurrent selection for yield in four Spanish landraces of maize. *Euphytica* 219:77, <https://doi.org/10.1007/s10681-023-03199-w>
- Rincón S. F., F. Castillo G. y N. A. Ruiz T. (2010) Diversidad y Distribución de los Maíces Nativos en Coahuila, México. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Chapingo, México. 116 p.
- Rincón S. F. y N. A. Ruiz T. (2018) Diversidad de los maíces nativos. In: La Biodiversidad en Coahuila. Estudio de Estado. Vol. II. CONABIO/ Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza, Ciudad de México, México. pp:499-507.
- Rincon-Sanchez F. and N. A. Ruiz-Torres (2018) Assessing maize diversity and defining a representative subset by means of selected morphological ear traits. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization* 16:488-497, <https://doi.org/10.1017/S1479262118000047>
- Rodriguez O. A. and A. R. Hallauer (1988) Effects of recurrent selection in corn populations. *Crop Science* 28(5):796-800, <https://doi.org/10.2135/cropsci1988.0011183X002800050015x>
- SAS Institute (2022) SAS/STAT® User's Guide. Cary, NC. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2023) Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Diciembre, 2024).
- Velasco-García A. M., J. J. García-Zavala, J. Sahagún-Castellanos, R. Lobato-Ortiz, C. Sánchez-Abarca e I. M. Marín-Montes (2019) Rendimiento, componentes de rendimiento y heterosis de germoplasma de maíz adaptado a valles altos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42:367-374, <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.4.367>
- Yan W. (2014) Crop Variety Trials: Data Management and Analysis. John Wiley & Sons. Malden, Massachusetts, USA. 351 p, <https://doi.org/10.1002/9781118688571>