

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



SELECCIÓN Y POTENCIAL DE RENDIMIENTO DE SEIS VARIEDADES DE
MAÍZ NATIVO PARA EL SURESTE DE COAHUILA, MÉXICO

Tesis

Que presenta FRANCISCA JUÁREZ LORENZO
como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRA EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO

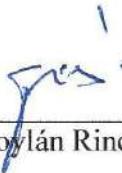
Saltillo, Coahuila

Julio 2024

SELECCIÓN Y POTENCIAL DE RENDIMIENTO DE SEIS VARIEDADES DE
MAÍZ NATIVO PARA EL SURESTE DE COAHUILA, MÉXICO

Tesis

Elaborada por FRANCISCA JUÁREZ LORENZO como requisito parcial para obtener
el grado de Maestro en Ciencias en Fitomejoramiento con la supervisión y aprobación
del Comité de Asesoría


Dr. Froylán Rincón Sánchez

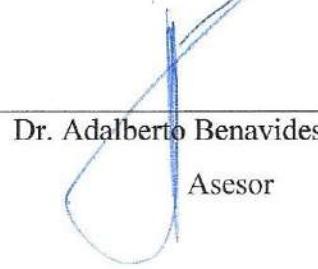
Director de Tesis


Dra. Norma Angélica Ruiz Torres

Asesor


Dr. Francisco Javier Sánchez Ramírez

Asesor


Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Asesor


Dr. Antonio Flores Naveda

Subdirector de Postgrado
UAAAN

Satillo, Coahuila

julio 2024

AGRADECIMIENTOS

Estoy inmensamente agradecida por las oportunidades y desafíos que la vida me ha regalado, por coincidir con personas y amistades optimistas que siempre estuvieron en los momentos más difíciles, fortaleciéndome como ciudadana y profesionista de bien.

A mi asesor principal, Dr. Froylán por darme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo, por brindarme enseñanzas y consejos que han hecho una gran diferencia en mi aprendizaje.

Mis asesores, Dra. Norma A. Ruiz, Dr. Fco. Javier Sánchez y al Dr. Adalberto Benavides por su apoyo en la revisión del proyecto de investigación.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAAN) y al departamento de Fitomejoramiento por formar parte de esta institución y desarrollarme como profesionista en mi estancia de licenciatura y maestría.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por la aportación económica que proporciona durante los estudios del Postgrado.

ÍNDICE GENERAL

	Página
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Importancia del maíz nativo en Coahuila	4
Diversidad de maíz en Coahuila	4
Potencial genético de las variedades nativas	5
Mejoramiento de variedades nativas	5
MATERIALES Y MÉTODOS	7
Material genético.....	7
Ubicación de los sitios experimentales.....	7
Manejo agronómico.....	7
Variables evaluadas	8
Análisis de la información	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
Interacción Genotipo × Selección × Ambiente.....	13
Respuesta en rendimiento de grano.....	14
CONCLUSIONES	22
REFERENCIAS.....	23

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. 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, evaluados en el 2022.	12
Cuadro 2. Medias del rendimiento de grano, floración masculina y prolificidad de las seis variedades en su versión original y mejorado, evaluados en el 2022.	15
Cuadro 3. Medias del rendimiento de grano y caracteres de la mazorca y grano de las variedades, en sus versiones originales y mejorados, evaluados en el 2022.	18

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Interacción Genotipos x Selección x Ambiente en el rendimiento en grano evaluados en el 2022.	13
Figura 2. Dispersión gráfica de las variedades en sus versiones original y mejorado con base en los dos primeros componentes principales (PC1 y PC2) con respecto a sus características de la mazorza evaluados en el 2022.....	20

RESUMEN

**SELECCIÓN Y POTENCIAL DE RENDIMIENTO DE SEIS VARIEDADES DE
MAÍZ NATIVO PARA EL SURESTE DE COAHUILA, MÉXICO**

POR

**FRANCISCA JUÁREZ LORENZO
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

**DR. FROYLÁN RINCÓN SÁNCHEZ
ASESOR**

Saltillo, Coahuila

julio 2024

En el sureste del estado de Coahuila se han identificado variedades nativas con potencial de rendimiento y características deseables que pueden ser incorporadas a un programa de mejoramiento genético. Los objetivos del presente estudio fueron estimar la respuesta en rendimiento de grano después de dos ciclos de selección aplicada a seis variedades nativas y determinar los caracteres de la mazorca y del grano. El estudio consistió en la evaluación en dos localidades diferentes, de seis variedades nativas en su versión original (O) y mejorada (M), cuatro representativas del área de transición-altura (JAG, CHAP, MTA y MTB) y dos de áreas intermedias (PT14R y PT14C). Las variedades originales fueron sometidas a dos ciclos de selección familiar (auto-hermanos y hermanos completos). Se obtuvo información de los días a floración masculina (FM), prolificidad (PRO) y rendimiento de grano (REND), y de caracteres de la mazorca y grano: longitud de mazorca (LMAZ), diámetro de mazorca (DMAZ) y de olate (DOLO), número de hileras (HIL) y granos por hilera (GHIL), la proporción de mazorca y de grano (DESG) y el largo (LG), ancho (AG) y espesor (EG) del grano. En 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 ganancia promedio de 1.64 t ha^{-1} (44.5 %), con variación de 1.22 (PT14R) a 2.25 t ha^{-1} (CHAP), equivalente a 19.1 y 70.1 %, respectivamente, lo que se atribuye a la presión de selección aplicada y a la variación entre variedades. En FM, se obtuvo una reducción promedio de tres días, tendencia significativa en la mayoría de las variedades, excepto en PT14R y JAG, donde la madurez se mantuvo similar a las versiones originales. Las variedades mantuvieron las características de la mazorca y del grano, debido a que la selección se aplicó a REND, y se trató de mantener los tipos de mazorca representativas, lo que define las características de las variedades. Se identificaron las variedades mejoradas PT14R y PT14C con potencial de rendimiento con 7.6 y 8.41 t ha^{-1} , respectivamente.

Palabras clave: *Zea mays* L., diversidad genética, selección familiar en variedades nativas.

ABSTRACT

**SELECTION AND YIELD POTENTIAL OF SIX NATIVE MAIZE VARIETIES FOR
SOUTHEASTERN COAHUILA, MEXICO**

By

**FRANCISCA JUÁREZ LORENZO
MASTER OF SCIENCE IN PLANT BREEDING**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

**DR. FROYLÁN RINCÓN SÁNCHEZ
ADVISOR**

In the southeast of the state of Coahuila, native varieties with yield potential and desirable traits have been identified that can be incorporated in a plant breeding program. The objectives of the present study were to estimate the response in grain yield of six native varieties after two cycles of selection, and to determine the characteristics of the ear and the grain. The study consisted of the evaluation in two different locations of six native varieties in their original (O) and improved (M) versions, four representative of the transition-highland area (JAG, CHAP, MTA, and MTB) and two from intermediate areas (PT14R and PT14C). The original varieties were subjected to two cycles of family selection (self and full sib families). Information was obtained on the days to male flowering (FM), prolificacy (PRO) and grain yield (REND), and ear and grain traits: ear length (LMAZ), ear (DMAZ) and cob (DOLO) diameter, number of rows (HIL) and grains per row (GHIL), the proportion of ear and grain (DESG) and the length (LG), width (AG) and thickness (EG) of the grain. In selection variants (O vs M), differences ($p \leq 0.01$) were found only in REND, FM, and LG. In REND, in the six varieties, an average gain of 1.64 t ha^{-1} (44.5 %) was obtained, with a variation of 1.22 (PT14R) to $2.25 \text{ t ha}^{-1} \text{ (CHAP)}$, equivalent to 19.1 and 70.1 %, respectively, which it is attributed to the applied selection pressure and the variation among varieties. In FM, an average reduction of three days was obtained, a significant trend in most varieties, except in PT14R and JAG, where maturity remained like the original versions. The varieties maintained their ear and grain traits, because the selection pressure was applied to REND, and an attempt was made to maintain the representative ear types, which defines the characteristics of the varieties. The improved varieties PT14R and PT14C were identified with yield potential of 7.6 and 8.41 t ha^{-1} , respectively.

Keywords: *Zea mays* L., genetic diversity, family selection applied to native varieties.

INTRODUCCIÓN

En el estado de Coahuila, durante el 2023 la siembra de maíz para grano fue de 15,634 hectáreas, donde la mayor parte de la producción se concentra principalmente en la región sureste del estado, con una superficie de 13,115 ha (83.9 %). De estas, el 90.4 % se estableció bajo condiciones de temporal, alcanzando un rendimiento promedio de 0.29 t ha⁻¹ (SIAP, 2023).

El desarrollo de un programa de mejoramiento en poblaciones nativas de maíz, puede ser un planteamiento que favorecerá la identificación y selección de variedades mejoradas que cuentan con alelos favorables para mitigar la problemática de producción de maíz para grano, y las modificaciones por efecto del cambio climático en la región de estudio.

Diversos estudios realizados con maíces de Coahuila han identificado poblaciones representativas de diferentes grupos raciales con potencial de rendimiento y adaptabilidad (Nájera *et al.*, 2010; Espinosa *et al.*, 2019). En el análisis de la diversidad de maíz en la región sureste del estado se identificó a un grupo de poblaciones representativo de la diversidad y tipos de maíz que pueden ser utilizadas para mejorar las poblaciones nativas (Rincon-Sánchez y Ruiz-Torres, 2018).

Alternativas para la obtención de variedades mejoradas a través del mejoramiento intrapoblacional incluye la selección recurrente de familias de medios hermanos, hermanos completos y familias de auto-hermanos (líneas S₁), métodos que permiten aumentar las frecuencias de alelos favorables en cada ciclo de selección, fijando caracteres de interés, y a la vez, se conserva la variación genética de una población (Hallauer *et al.*, 2010).

En este sentido, es conveniente considerar la diversidad genética y adaptación que presentan las poblaciones nativas con fines de selección. La caracterización de las poblaciones debe estar apoyada por la evaluación fenotípica dirigida a caracteres de interés, lo que permitirá facilitar la identificar alelos favorables en germoplasma nativo con potencial para mitigar condiciones adversas (González *et al.*, 2013).

La evaluación de variedades como etapa final del mejoramiento genético permite validar el potencial de rendimiento para enfrentar la problemática de producción y adaptación de las condiciones climáticas de la región. El presente trabajo tuvo como objetivos realizar la evaluación agronómica, determinar el potencial de rendimiento, determinar las características de la mazorca y estimar la respuesta en rendimiento de grano de seis variedades experimentales de maíces nativos, en su versión original y mejorado.

Objetivo general

Realizar selección para rendimiento de grano en variedades nativas de maíz representativas del sureste de Coahuila.

Objetivos específicos

- Estimar la respuesta en rendimiento de grano después de dos ciclos de selección en seis variedades de maíz nativo.
- Describir los caracteres de la mazorca de las variedades y su relación con el rendimiento de grano.

Hipótesis

La selección aplicada a las variedades nativas incrementará el rendimiento de grano y mantendrá las características distintivas como alternativa para la siembra de temporal en la región de estudio.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del maíz nativo en Coahuila

En México, en el 2023 la producción de maíz para grano alcanzó los 27 millones 550 mil toneladas, con una superficie sembrada de 6,941,031 ha de las cuales, el 77.2 % se estableció bajo condiciones de temporal y 22.8 % bajo sistema de riego, logrando rendimientos promedios de 2.69 y 9.3 t ha⁻¹, respectivamente. En el mismo año, en el estado de Coahuila la superficie de siembra fue de 15,634 hectáreas, concentrándose principalmente en la región sureste que incluye Arteaga, General Cepeda, Parras, Ramos Arizpe y Saltillo con una superficie de 13,115 ha (83.9 %) de las cuales el 90.4 % se cultivó bajo condiciones de temporal, con un rendimiento promedio de 0.29 t ha⁻¹ de maíz para grano (SIAP, 2023), por lo que, la obtención de variedades con potencial de rendimiento es una alternativa para mitigar la problemática de productividad y abastecimiento de semilla de maíz para siembra.

Diversidad de maíz en Coahuila

En Coahuila, se ha documentado la existencia de siete grupos raciales (Celaya, Cónico Norteño, Elotes Cónicos, Olotillo, Ratón, Tuxpeño y Tuxpeño Norteño), siendo los de importancia: Ratón (26.7 %), Cónico Norteño (21.1 %) y Tuxpeño Norteño (20.0 %), mismos que han sido conservados por los productores a través de selección de semilla empírica a partir de sus cosechas en cada ciclo del cultivo (Rincón *et al.*, 2010).

En un estudio posterior, Rincón y Ruiz (2015) mencionan que la diversidad del maíz en el estado de Coahuila depende principalmente de las condiciones del entorno ambiental de cada sitio, el intercambio de la semilla entre agricultores de diferentes regiones, las combinaciones genéticas entre materiales adaptados con foráneos y la adaptación específica de las poblaciones nativas.

A partir del análisis de la diversidad genética de maíz presente en el sureste de Coahuila, se identificó un subconjunto de poblaciones de maíz nativo representativo de los grupos raciales y tipos de maíces que pueden ser utilizadas para la conservación y uso, a través de la selección para desarrollar variedades locales mejoradas (Rincon-Sanchez y Ruiz-Torres, 2018).

Potencial genético de las variedades nativas

Diversas poblaciones representativas de grupos raciales del estado de Coahuila han sido evaluadas en ambientes contrastantes, lo que ha permitido identificar poblaciones estables y con potencial de rendimiento, principalmente de las razas Tuxpeño Norteño, Tuxpeño y Ratón (Nájera *et al.*, 2010). También, Espinosa *et al.* (2019) en un estudio del análisis de la interacción poblaciones × ambientes identificaron poblaciones nativas con adaptación específica a áreas contrastantes y poblaciones sobresalientes a través de los entornos ambientales, correspondientes a los grupos raciales Tuxpeño, Ratón y Tuxpeño Norteño.

Mejoramiento de variedades nativas

Una variedad mejorada se compone de individuos que muestran un nivel considerable de uniformidad, obtenido mediante métodos de mejoramiento genético. Estos individuos destacan por características bien definidas que los distinguen de otras variedades y por ser estables en sus caracteres esenciales. Son reconocidos por su mayor rendimiento, superando a las variedades anteriores en caracteres deseables como calidad, precocidad, resistencia a plagas y enfermedades, además de poseer un potencial adaptativo óptimo para las regiones específicas para las cuales fueron seleccionados (Espinosa *et al.*, 2009).

La alta variabilidad genética presente en las variedades nativas de maíz ha sido aprovechada en algunos programas de mejoramiento genético, lo cual ha facilitado la obtención de germoplasma mejorado y adaptado a numerosos ambientes (Zhi-Zhai *et al.*, 2010). Sin embargo, la diversidad en maíces nativos está disminuyendo debido al uso generalizado de semillas mejoradas, la erosión genética y cultural, cambio de cultivo y desastres naturales (Eschholz *et al.*, 2010).

Conforme a los estudios de Biasutti *et al.* (2021), formar variedades de polinización libre de maíz desarrolladas en sitios específicos, constituye una alternativa para alcanzar rendimientos aceptables en zonas semiáridas, evitando la dependencia de proveedores de semilla y disminuyendo los costos de producción de los agricultores.

Una alternativa para obtener variedades mejoradas de polinización libre de maíz que permitan conservar la variabilidad genética, aumentar las frecuencias genéticas de alelos favorables de una o más características bajo selección inter-poblacional y continuar con

la selección es a través de selección recurrente mediante selección familiar (Hallauer *et al.*, 2010).

En cada proceso de selección para rendimiento de grano se consiguen resultados positivos en los ciclos de evaluación, así como la identificación de variedades con capacidad de adaptación en áreas específicas de una región (Santiago-López *et al.*, 2020).

De acuerdo con Díaz-Ramírez *et al.* (2020), con el método de selección recurrente de familias de auto-hermanos se han obtenido ganancias positivas en el rendimiento en grano en un 0.3 t ha^{-1} y resistencia a carbón de la espiga en maíz de un 0.94 % por ciclo, que dependen de la intensidad de selección y de los avances a los ciclos de mejoramiento, donde se acumulan los alelos favorables de acuerdo con los intereses de selección.

La aplicación de un método de mejoramiento por medio de selección recurrente, al formar familias de hermanos completos aplicado en tres ciclos de selección, ha resultado en un incremento del 12 % en el rendimiento de grano, sin modificar las fechas de floración ni la altura de las plantas en comparación con la población original. Este enfoque ha dado lugar a la creación de variedades destacadas que tienen el potencial de sustituir a las variedades comerciales existentes y conseguir una aceptación favorable por parte de los productores (Coutiño *et al.*, 2008).

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

El material genético (GEN) consistió en la evaluación de seis variedades nativas en su versión original (O) y mejorada (M), identificados como variantes de Selección (SEL), cuatro representativas del área de transición-altura de la raza Cónico Norteño (>1800 m): JAG, CHAP, MTA y MTB, y dos de áreas intermedias (1001-1800 m): PT14R y PT14C, de la raza Ratón y Celaya, respectivamente. Las variedades nativas fueron sometidas a dos ciclos de selección (SEL): selección de familias de auto-hermanos y familias de hermanos completos (Fehr, 1991). En cada ciclo de selección se derivaron familias, a la cosecha se identificaron aquellas con base en el tipo de mazorca, representativas de la variedad original. En cada ciclo de selección se usó un tamaño de muestra para la evaluación que varió entre 40 y 50 familias representativas por variedad.

Ubicación de los sitios experimentales

La evaluación agronómica se realizó en el ciclo agrícola primavera-verano del 2022, en dos localidades diferentes (AMB) y representativas de las condiciones ambientales del Sureste de Coahuila: El Mezquite, Galeana, Nuevo León (MEZ) ($25^{\circ} 18' LN$; $101^{\circ} 16' LO$, altitud 1890 msnm, temperatura media anual de $15.5^{\circ}C$ y precipitación media anual de 416.4 mm) localizada en los límites de Coahuila, a 10 km de Saltillo, y General Cepeda, Coahuila (GC) ($25^{\circ} 26' LN$; $101^{\circ} 27' LO$, altitud 1450 msnm, temperatura media anual de $18.4^{\circ}C$ y precipitación media anual de 279.9 mm), bajo condiciones de riego.

Diseño experimental

La evaluación en campo se estableció en un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 6×2 (Genotipos \times Selección), con dos repeticiones por localidad. El diseño se generó con el software CropStat (IRRI, 2007). Los genotipos se establecieron en parcelas de dos surcos de cuatro metros, a una distancia entre surco de 0.85 m y entre plantas de 0.20 m. En cada surco se establecieron 30 semillas para posteriormente aclarar, dejando 22 plantas con una densidad $61,919$ plantas ha^{-1} .

Manejo agronómico

Siembra. Las fechas de siembra fueron el 14 de mayo del 2022 en El Mezquite, Galeana, Nuevo León y el 11 de junio del mismo año en General Cepeda, Coahuila.

Fertilización. La fertilización se realizó con una dosis de 120-60-60 en las dos localidades de evaluación, con base en la fórmula triple 17 (17-17-17) y Urea (46-00-00). En la siembra se aplicó la mitad de Nitrógeno con la dosis completa de Fósforo y Potasio, el complemento de Nitrógeno se aplicó antes del aporque utilizando la fórmula de Urea.

Riegos. En ambas localidades de evaluación, los riegos fueron aplicados según las necesidades específicas del cultivo y las condiciones ambientales particulares de cada lugar.

Labores culturales. El control de plagas y malezas se realizó de acuerdo con la presencia observada de cada una. Asimismo, el aclareo y aporque fueron realizadas conforme al desarrollo del cultivo en cada localidad de evaluación.

Variables evaluadas

Caracteres agronómicos

Floración masculina y femenina (FM y FF) (d). Número de días transcurridos desde la siembra hasta la que el 50 % de las plantas de la unidad experimental han emitido polen y han emergido los estigmas, respectivamente.

Asincronía de floración (ASI) (d). Estimado como la diferencia entre los días a floración femenina y los días a floración masculina.

Altura de planta y mazorca (APTA y AMAZ) (cm). Se midió desde la superficie del suelo, hasta el inicio de la ramificación de la espiga y hasta el nudo de inserción de la mazorca superior, respectivamente.

Plantas con mala cobertura de mazorca (MCOB) (%). Se cuantificó el número mazorcas con granos expuestos por unidad experimental, con relación al número de plantas establecidas.

Número de mazorcas por planta (PRO). Corresponde al número total de mazorcas por unidad experimental, dividido entre el número de plantas establecidas.

Mazorcas podridas (MP). En cada unidad experimental se cuantificó el número de mazorcas que presentaban daños por pudrición en relación con el número de mazorcas totales.

Rendimiento en grano (REND) ($t \text{ ha}^{-1}$). Se estimó al multiplicar el producto del peso seco (PS) por un factor de conversión (FC) de la superficie de la unidad experimental a una hectárea.

El PS se estimó multiplicando el peso de campo (PC) por el porcentaje de grano seco $(1 - \frac{H}{100})$: $PS = PC \times (1 - \frac{H}{100})$.

El factor de conversión se calculó de la siguiente manera:

$$FC = \left(\frac{100}{85} \times \frac{10000}{APU} \right) / 1000$$

Donde: APU (Área de parcela útil), se calculó como el producto de la distancia entre surcos por la longitud del surco; 100/85, coeficiente para obtener rendimiento al 15 % de humedad; 1000, constante usada para calcular el rendimiento en $t \text{ ha}^{-1}$; 10000, superficie de una hectárea en m^2 .

Caracteres de la mazorca y grano

A la cosecha, se identificaron tres mazorcas representativas de cada unidad experimental para estimar los caracteres de la mazorca y grano.

Longitud de mazorca (LMAZ). Se midió la distancia en cm desde la base al ápice de la mazorca.

Diámetro de mazorca (DMAZ). Se midió en la parte media de la mazorca en cm.

Número de hileras (HIL). Se cuantificó el número de hileras de granos en la parte media de la mazorca.

Número de granos por hilera (GHIL). Se cuantificó el número de granos por hilera de la mazorca.

Diámetro del olate (DOLO). Se midió el diámetro del olate en la parte media de la mazorca en cm.

Proporción de mazorca y grano (DESG). Se estimó dividiendo el peso de la semilla entre el peso de la mazorca (g).

En cada mazorca se identificaron 10 granos consecutivos de la parte media de mazorca, para medir el largo (LG), ancho (AG) y espesor (EG) del grano expresado en cm.

Análisis de la información

Con la información obtenida de cada unidad experimental de las variables estudiadas se realizó un análisis de varianza con el procedimiento PROC GLM de SAS (SAS Institute, 2022), donde se probaron los efectos de los Genotipos (GEN), la Selección (SEL) y de las interacciones con los ambientes de evaluación. Se realizó un análisis de la interacción variedades por caracteres de estudio, basado en un análisis de componentes principales (Yan, 2014). El modelo lineal del diseño experimental fue:

$$y_{ijkl} = \mu + a_i + r_{j(i)} + g_k + s_l + gs_{kl} + ga_{ik} + gas_{ikl} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde: y_{ijkl} = Variable de respuesta; μ = Efecto de la media general; a_i = Efecto del i -ésimo ambiente; $r_{j(i)}$ = Efecto del j -ésimo bloque dentro del i -ésimo ambiente; g_k = Efecto del k -ésimo genotipo; s_l = Efecto del l -ésimo variante de selección; gs_{kl} = Efecto del k -ésimo genotipo por el l -ésimo variante de selección; ga_{ik} = Efecto del i -ésimo ambiente por el k -ésimo genotipo; gas_{ikl} = Efecto de la interacción del k -ésimo genotipo por i -ésimo ambiente por el l -ésimo variante de selección; ε_{ijkl} = Error experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la información de los datos obtenidos en los dos ambientes (AMB) de evaluación en el 2022, se realizó un análisis de varianza de las variables incluidas en el estudio (Cuadro 1).

Se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) en los ambientes de evaluación para las variables REND, FM y FF, y diferencias ($p \leq 0.05$) en AMAZ, MP y DMAZ. La expresión de dichas variables se ve afectada debido a la variación de los ambientes en altitud, precipitación, temperatura y fotoperiodo.

En los genotipos (variedades nativas) se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$, $p \leq 0.05$) en gran parte de las variables evaluadas, excepto en ASI, MCOB, PRO y DMAZ consecuencia de las diferencias genéticas entre variedades, las diferencias entre los grupos raciales y el origen de adaptación de estas (transición-altura e intermedias).

En variantes de selección original vs mejorado (O vs M), se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en REND, FM, FF y LG, con una $p \leq 0.05$ en ASI, lo que puede explicarse considerando el cambio por efecto del mejoramiento genético en los dos ciclos de selección. Resultados similares fueron encontrados en la estimación de ganancias por ciclos de selección recurrente para rendimiento y resistencia al carbón de la espiga de maíz, indicando que el rendimiento se ve afectado de acuerdo a los ciclos de selección en que fue evaluado (Díaz-Ramírez *et al.*, 2020).

En los efectos de la interacción Genotipo \times Selección (GEN \times SEL) se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) en FM, FF, GHIL, AG y DESG, lo que indica el comportamiento relativo de las variantes de la selección en las variedades nativas. En el caso de la interacción Ambientes \times Genotipos (AMB \times GEN) se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) sólo en FM y FF, y con una diferencia ($p \leq 0.05$) en REND, MP y LMAZ. Es decir, en general las variedades nativas son ligeramente afectadas por las condiciones del ambiente de evaluación de este estudio. La interacción Ambiente \times Selección (AMB \times SEL), mostró diferencias ($p \leq 0.01$) en REND y diferencias ($p \leq 0.05$) en LG, debido a que, las versiones mejoradas tienden a responder de manera diferente en los ambientes de evaluación.

Cuadro 1. 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.

Variables	A	R/A	G	S	Fuentes de variación					Error	CV (%)
					G × S	A × G	A × S	A × G × S			
Grados de libertad											
Agronómicas	1	2	5	1	5	5	1	5	22		
REND (t ha ⁻¹)	23.6924 **	0.033	21.117 **	32.452 **	0.367	1.818 *	16.9476 **	0.813	0.5571	13.9	
FM (d)	11563.0208 **	5.604	125.188 **	111.021 **	14.821 *	27.821 **	6.0208	1.221	3.7405	2.4	
FF (d)	13101.0208 **	18.021 *	141.471 **	180.188 **	24.038 **	37.171 **	15.1875	5.238	4.8390	2.6	
ASI (d)	48.0000	4.708	1.083	8.333 *	1.533	1.500	2.0833	2.183	1.9356	47.0	
APTA (cm)	90.7500	25.500	2006.033 **	300.000	312.150	145.700	147.0000	431.350	333.4091	8.9	
AMAZ (cm)	1102.0833 *	35.083	856.900 **	40.333	36.583	176.833	8.3333	338.783 *	111.9470	9.9	
MCOB (%)	780.5375	112.091	120.382	235.677	230.362	42.267	84.0757	11.027	91.5198	68.6	
MP (%)	848.4540 *	19.735	200.463 **	0.900	57.763	136.913 *	2.9000	27.143	44.5395	51.1	
PRO	0.0117	0.010	0.020	0.003	0.018	0.007	0.0015	0.008	0.0109	9.5	
Grados de libertad											
Mazorca y grano	1	2	5	1	5	5	1	5	94		
HIL	10.7556	8.250	40.662 **	1.422	5.942	2.742	2.2222	1.942	3.2287	12.5	
GHIL	85.4222	29.715	370.176 **	21.356	65.949 **	41.522	0.0889	30.202	18.2100	13.3	
LMAZ (cm)	8.0857	4.825	28.878 **	0.001	5.861 *	5.347 *	0.4061	0.832	1.9346	9.4	
DMAZ (cm)	0.6717 *	0.023	0.143	0.064	0.125	0.106	0.0345	0.170	0.1078	7.6	
LG (cm)	0.0461	0.007	0.034 **	0.081 **	0.002	0.012	0.0530 *	0.007	0.0107	8.1	
AG (cm)	0.0053	0.011	0.084 **	0.003	0.017 **	0.007	0.0160	0.006	0.0046	8.4	
EG (cm)	0.0001	0.004	0.007 **	0.003	0.001	0.001	0.0008	0.002	0.0011	8.7	
DOLO (cm)	0.0048	0.092	0.470 **	0.152	0.094	0.028	0.0126	0.133	0.0589	10.6	
DESG (%)	0.0009	0.003 **	0.002 **	0.000	0.002 **	0.001	0.0003	0.002 **	0.0005	2.6	

*, **, significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente; A= Ambientes; R= Repeticiones; G= Genotipos; S= Selección; REND= Rendimiento de grano; FM= Floración masculina; FF= Floración femenina; ASI= Asincronía de floración; APTA= Altura de planta; AMAZ= Altura de mazorca; MCOB= Mala cobertura de la mazorca; MP= Mazorcas podridas; PRO= Prolificidad; HIL= Número de hileras; GHIL= Número de granos por hilera; LMAZ= Longitud de mazorca; DMAZ= Diámetro de mazorca; LG= Longitud de grano; AG= Ancho de grano; EG= Espesor de grano; DOLO= Diámetro del oloote; DESG=Proporción semilla/mazorca; CV= Coeficiente de variación.

Interacción Genotipos × Selección × Ambiente

En la Figura 1 se presenta el comportamiento del rendimiento promedio en grano de las variedades nativas en sus versiones original y mejorado a través de los ambientes de evaluación.

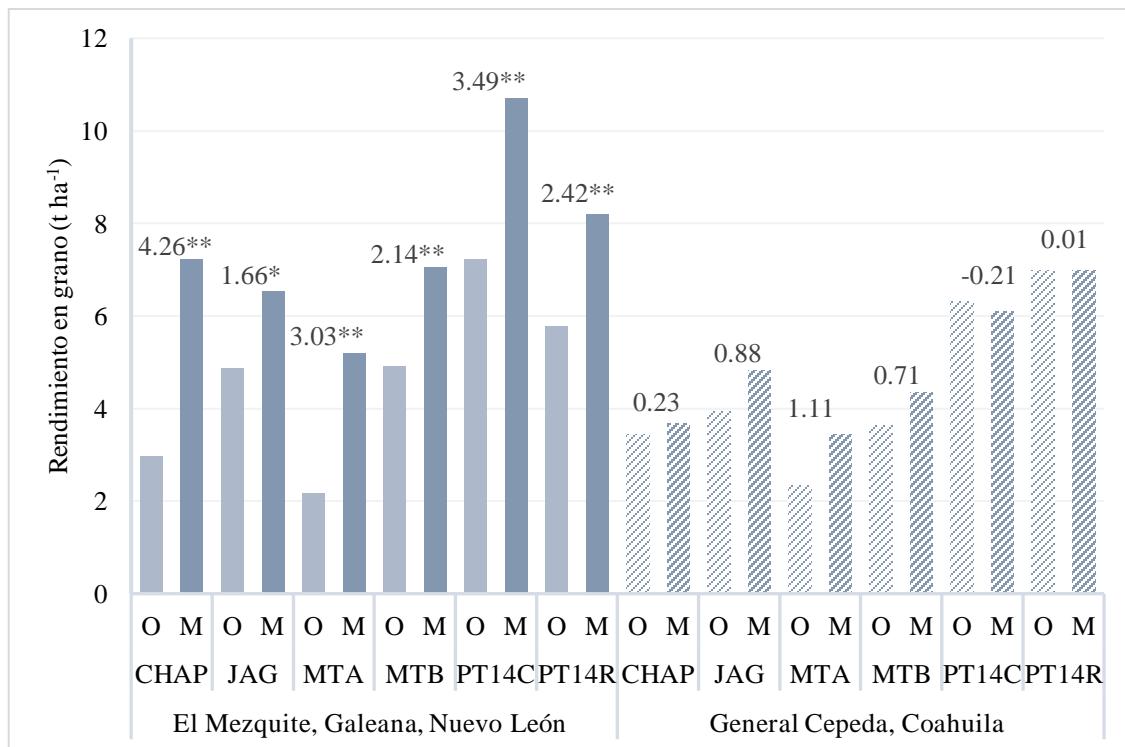


Figura 1. Interacción Genotipos x Selección x Ambiente en el rendimiento en grano evaluados en el 2022. O= Original, M= Mejorado, CHAP, JAG, MTA, MTA, MTB, PT14C y PT14R= Variedades.

En la Figura 1 se puede analizar la interacción GEN x SEL, AMB x GEN y SEL x AMB en el rendimiento de grano (REND). La respuesta en REND de las variantes en la selección (SEL) (Originales vs Mejorados) son evidentes en el ambiente El Mezquite (MEZ), considerado, bajo las condiciones de la presente evaluación como un ambiente favorable, comparando con el ambiente de General Cepeda (GC), donde la evaluación fue bajo condiciones de estrés en riego, y el periodo de sequía que se presentó durante el desarrollo del cultivo. Aunque la comparación relativa de las variantes mejoradas vs originales fue positiva en GC, excepto en la variedad PT14C, las diferencias no fueron

significativas, es decir, no se presentó evidencia de la respuesta a la selección en las variedades de estudio. Lo contrario sucedió en el ambiente de MEZ, donde la respuesta de las variedades mejoradas vs originales fue del ámbito de 1.66 ** (JAG) a 4.26 ** t ha⁻¹ (CHAP) (Figura 1), lo que muestra evidencia de la respuesta en REND en los dos ciclos de selección aplicado a variedades nativas.

La aplicación de un ciclo de selección de familias de auto-hermanos para purificar las características de la población, y un ciclo de selección a través de familias de hermanos completos evidenció que la respuesta depende de la variación entre variedades lo cual se manifestó en diferentes índices de ganancias (Figura 1). Coutiño *et al.* (2008) al realizar la selección entre y dentro de familias de hermanos completos reportaron incrementos en el rendimiento de grano en tres ciclos de selección, mismas que dependieron de la intensidad de selección y de los genotipos que fueron seleccionados.

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 y femenina.

El análisis comparativo del efecto de la selección en las variedades nativas se realizó para el rendimiento de grano, floración masculina y se incluyó la prolificidad.

Los resultados de las comparaciones de medias entre variedades y la respuesta relativa a la selección se presenta en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Medias del rendimiento de grano, floración masculina y prolificidad de las seis variedades en su versión original y mejorado, evaluados en el 2022.

Variedades	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)			Floración masculina (d)			Prolificidad (mazorcas planta ⁻¹)		
	O	M	Dif	O	M	Dif	O	M	Dif
PT14C	6.77 ††	8.41 ††	1.64 **	85.75 †	82.50 ††	-3.25 *	1.13	1.11	-0.02
PR14R	6.38 ††	7.60 ††	1.22 *	86.50 †	88.25 ††	1.75	1.09	1.27 ††	0.18 *
JAG	4.41	5.67	1.27 *	79.50	77.25	-2.25	1.09	1.11	0.02
MTB	4.28	5.71	1.43 *	79.00	75.50	-3.50 *	1.06	1.00	-0.06
CHAP	3.21	5.46	2.25 **	83.00	76.75	-6.25 **	1.15	1.06	-0.09
MTA	2.25	4.32	2.07 **	81.00	76.25	-4.75 **	1.05	1.11	0.05
Media	4.55	6.19	1.64	82.46	79.42	-3.04	1.10	1.11	0.01
E.E.	0.22	0.47		1.08	0.89		0.06	0.04	

*, **= significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente. †, ††= Significativo con base en la $\mu+E.E.$ y $\mu+2E.E.$, respectivamente, O= Original, M= Mejorado, Dif=Diferencia relativa entre la variedad mejorada y su versión original, E.E.= Error estándar de la media entre las variedades mejoradas y en su versión original.

En la comparación relativa de las versiones mejoradas vs originales, en las seis variedades evaluadas se obtuvo una ganancia promedio en rendimiento de grano de 1.64 t ha^{-1} (44.5 %), con variación de 1.22 (PT14R) a 2.07 (MTA) t ha^{-1} equivalente a 19.1 y 49.8 %, respectivamente. Las diferencias en las respuestas se atribuyen a la presión de selección realizado por el tipo de mazorca y el potencial de rendimiento en el primer ciclo de selección a través de familias de auto-hermanos. Es importante señalar que la variedad PT14R con una de las menores ganancias, es una de las variedades con potencial de rendimiento, tanto en su versión original como el mejorado (6.38 y 7.60 t ha^{-1} , respectivamente). En esta variedad se observó la mayor ganancia (16.5 %) en prolificidad y se mantuvo la madurez sin cambio. Por otro lado, la variedad que presentó mayor ganancia en REND (91.8 %) MTA, es una variedad de bajo rendimiento de grano, sin embargo, la presión de selección y las características de la mazorca y grano permitieron identificar familias sobresalientes que justifican los resultados en la respuesta a la selección.

En relación con la floración masculina, en la selección aplicada en dos ciclos de selección se obtuvo una reducción promedio de tres días, cambios significativos, con una tendencia en la mayoría de las variedades, excepto en PT14R y JAG donde la madurez se mantuvo similar en las versiones originales (Cuadro 2).

Con respecto al número de mazorcas por planta (PRO), en el tipo de selección (O vs M) no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 1); sin embargo, en la variedad PT14R se encontró una diferencia ($p \leq 0.01$) en la respuesta a la selección de 0.18 (16.5 %).

El comportamiento promedio de las variedades mostró qué, las variedades adaptadas a áreas intermedias (PT14C y PT14R) obtuvieron rendimientos superiores de 8.4 y 7.6 t ha^{-1} en las variedades mejoradas, con siete días en promedio más tardías, comparadas con las variedades adaptadas a áreas de transición-altura, con una variación en rendimiento de grano de 4.30 a 5.71 t ha^{-1} en sus versiones mejoradas. Maya y Ramírez (2002) en la

selección recurrente de líneas S₁ mencionan que la ganancia que se obtenga en cada ciclo de selección dependerá de los criterios y del carácter que se pretenda mejorar.

La selección aplicada a las variedades no tuvo efectos en los caracteres de la mazorca y del grano, debido a que no se ejerció presión de selección para estos caracteres, sin embargo, la descripción de los caracteres de la mazorca y del grano permitió determinar las características distintivas de las variedades.

En el Cuadro 3 se presentan las medias del rendimiento de grano y los caracteres de la mazorca y grano, para las variedades en su versión original y mejorado.

Cuadro 3. Medias de rendimiento de grano y caracteres de la mazorca y grano de las variedades, en sus versiones originales y mejorados, evaluados en el 2022.

REND (t ha ⁻¹)	Caracteres de la mazorca							Caracteres del grano		
	HIL	GHIL	LMAZ (cm)	DMAZ (cm)	DOLO (cm)	DESG (%)	LG (cm)	AG (cm)	EG (cm)	
Variedades originales										
PT14C	6.77 **	12.20	37.20 **	16.63 **	4.18	2.44 **	0.85	1.26	0.93 **	0.38
PT14R	6.38 **	13.00	37.50 **	16.88 **	4.26	2.39 *	0.84	1.23	0.89 **	0.37
JAG	4.41	15.20 *	29.10	14.25	4.42	2.28	0.86	1.33	0.79	0.40
MTB	4.28	16.60 **	27.50	12.97	4.38	2.16	0.86	1.32	0.71	0.40
CHAP	3.21	14.80	29.90	14.36	4.32	2.01	0.88 **	1.38 **	0.76	0.39
MTA	2.25	14.00	28.20	13.97	4.32	2.27	0.85	1.31	0.81	0.42 **
media	4.55	14.30	31.57	14.84	4.32	2.26	0.86	1.30	0.81	0.39
E.E.	0.22	0.60	1.39	0.48	0.12	0.09	0.01	0.04	0.02	0.01
Variedades mejoradas										
PT14C	8.41 **	13.80	34.10 *	15.75 **	4.35	2.60 **	0.84	1.19	0.87 **	0.38
PT14R	7.60 **	13.40	39.30 **	15.77 **	4.12	2.19	0.86	1.23	0.81	0.35
MTB	5.71	16.60 **	34.20 *	14.82	4.28	2.16	0.89 **	1.29	0.72	0.38
JAG	5.67	16.00 **	29.70	14.06	4.38 *	2.44 *	0.85	1.29	0.76	0.39
CHAP	5.46	13.40	30.70	14.92	4.14	2.18	0.86	1.30 *	0.84 *	0.38
MTA	4.32	13.60	26.50	13.56	4.38 *	2.44 *	0.86	1.27	0.86 **	0.42 **
media	6.19	14.47	32.42	14.81	4.27	2.34	0.86	1.26	0.81	0.38
E.E.	0.46	0.65	1.40	0.45	0.09	0.07	0.01	0.03	0.02	0.01

*, **= Significativo con base en $\mu+E.E.$ y $\mu+2E.E.$, respectivamente, 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 oloote, DESG= Porcentaje de grano en la mazorca, LG= Longitud de grano, AG= Ancho de grano, y EG= Espesor de grano, E.E.= Error estándar de la media.

En los caracteres de la mazorca y del grano no se presentó evidencia de cambios asociados con el mejoramiento de las variedades (Cuadro 1). Sin embargo, se presentó diferencia ($p \leq 0.01$) en la interacción GEN × SEL en GHIL, LMAZ, DESG y AG.

En general, las versiones mejoradas de las variedades mantuvieron las características de la mazorca y del grano de las variedades originales. Lo anterior es esperado debido a que en los ciclos de selección se trató de mantener los tipos de mazorca representativas de la variedad y sólo aplicar la selección en el rendimiento de grano. La variación que se nota en el Cuadro 3, entre las variedades se atribuye a la variación dentro de las mismas y a la variación en la selección del tipo de mazorca representativas de estas. Por lo tanto, el efecto de la selección dependerá del carácter que se pretende modificar y de los que se quieren mantener. En este sentido, las variedades mejoradas con potencial de rendimiento para áreas específicas, como es el caso del presente estudio, constituyen una alternativa para el incremento de la productividad a nivel de una región, como ha sido señalado por Del Carmen-Bravo *et al.* (2022).

La interacción de las variedades en su versiones mejoradas y originales con los caracteres en estudio se presenta en la Figura 2.

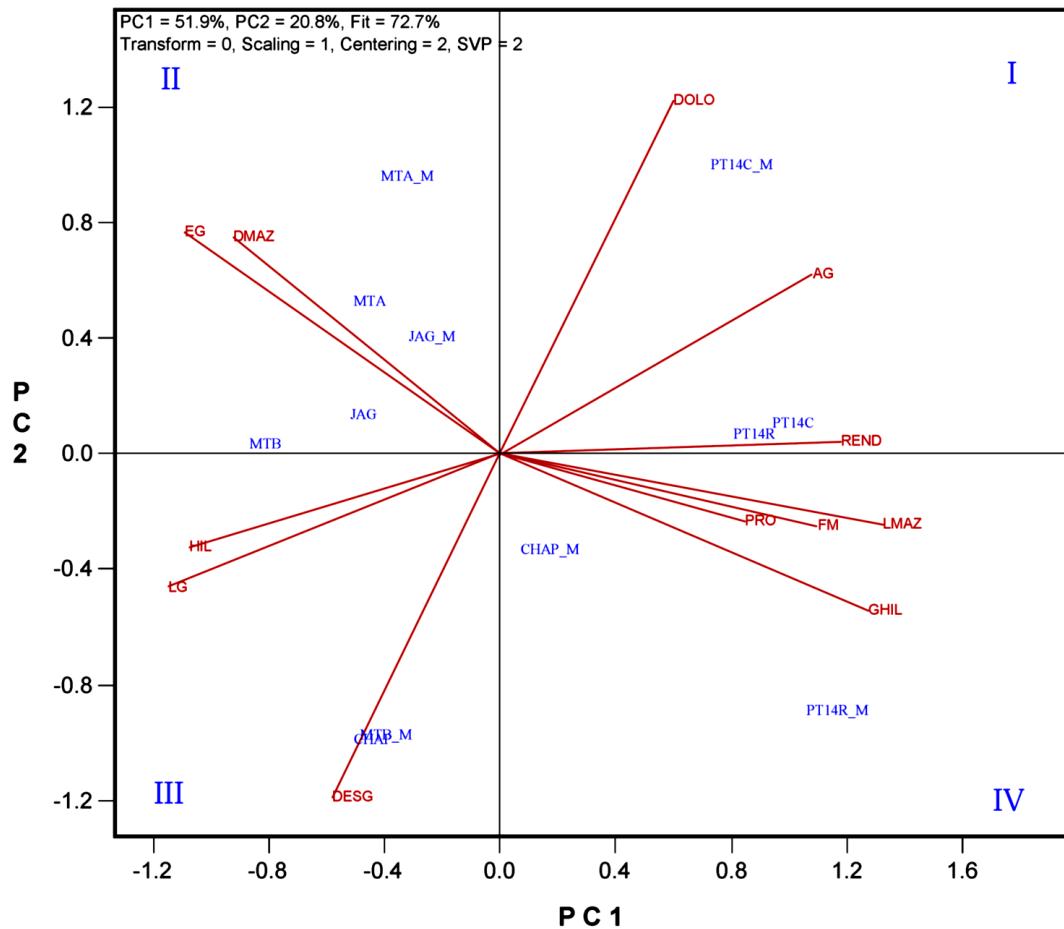


Figura 2. Dispersión gráfica de las variedades en sus versiones original y mejorada con base en los dos primeros componentes principales (PC1 y PC2) con respecto al rendimiento de grano y las características de la mazorca, evaluados en el 2022. Variedades originales (CHAP, JAG, MTA, MTB, PT14C, PT14R) y mejoradas (CHAP_M, JAG_M, MTA_M, MTB_M, PT14C_M, PT14R_M). Rendimiento de grano (REND), Número de mazorcas por planta (PRO), Floración masculina (FM), Número de hileras (HIL), Número de granos por hilera (GHIL), Longitud de mazorca (LMAZ), Diámetro de la mazorca (DMAZ), Diámetro del olate (DOLO), Proporción grano-mazorca (DESG), Longitud (LG), Ancho (AG) y Espesor (EG) de grano.

En el eje de la abscisa (Cuadrantes I y IV) se identifica el rendimiento de grano, correlacionado positivamente con PRO, FM, LMAZ y GHIL. Asociados a estos caracteres se identifican, con valores positivos en el eje de la abscisa a las variedades PT14C y PT14R con rendimientos superiores (Cuadro 2), adaptadas a áreas intermedias, en tanto que las de menor rendimiento, las variedades de transición-altura (JAG, CHAP, MTA y MTB) (Cuadrantes II y III), cuya diferencia promedio en rendimiento con respecto a las variedades de adaptación intermedia fue de 1.75 t ha^{-1} (Cuadro 2). Las variedades de adaptación intermedia se caracterizan, además de mayor rendimiento, por ser más tardías, con índices altos de prolificidad, contrario a las variedades de transición-altura (valores negativos en el eje de la abscisa), resultados verificables en el Cuadro 2. También las variedades de altura, opuesto a las variedades intermedias se caracterizan por contar con mayor número se hileras, DMAZ, EG y LG. Se puede dilucidar de la Figura 2, las modificaciones en las variedades por efecto de la variante de selección (O vs M). Por ejemplo, en la variedad PT14C, el efecto de la selección se nota en un incremento en el diámetro del olate de 2.4 a 2.6 cm (Cuadro 3), diferencia que se puede visualizar en la Figura 2, Cuadrante I.

Similarmente en la variedad MTB, se pueden observar cambios de la variedad original a la mejorada en el porcentaje de grano al pasar de 0.85 % a 0.89 % (Cuadro 3 y Figura 2). La Figura 2, además de mostrar la interacción variedades \times caracteres, permite definir a la variedad con relación al potencial de rendimiento y a las características distintivas de mazorca y grano (Cuadro 2).

Velasco-García *et al.* (2019) indicaron que el rendimiento en grano está correlacionado de manera positiva con la prolificidad, longitud de mazorca, diámetro de la mazorca y los granos por hilera, variables de importancia que pueden ser considerados en programas de fitomejoramiento para obtener ganancias considerables en cada ciclo de selección.

CONCLUSIONES

Después de dos ciclos de selección se obtuvo una ganancia promedio de 1.64 t ha^{-1} , con una variación entre 1.22 (PT14R) y 2.25 t ha^{-1} (CHAP) en el rendimiento de grano.

Los caracteres de la mazorca y del grano permitieron describir las características de las variedades en estudio, las cuales se mantuvieron sin cambio después del proceso de selección.

Se identificaron variedades mejoradas con potencial de rendimiento de la raza Ratón (PT14R) y Celaya (PT14C) con 7.6 y 8.41 t ha^{-1} , respectivamente.

REFERENCIAS

- Biasutti C. A., Bongianino N. y de la Torre M. V. 2021. Nuevas variedades de maíz (*Zea mays* L.) para la zona semiárida de la provincia de Córdoba, Argentina. *Agriscentia* 38:111-116. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v38.n1.32098>
- Coutiño E. B., Sánchez G. G. y Vidal M. V. A. 2008. Selección entre y dentro de familias de hermanos completos de maíz en Chiapas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(2): 115-123. <https://doi.org/10.35196/rfm.2008.2.115>
- Del Carmen-Bravo G., Gil-Muñoz A., Antonio-López P., Reyes-López D. y Ocampo-Fletes I. 2022. Variedades compuestas, una opción de aprovechamiento de la diversidad de las poblaciones nativas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 45(1):3-12.
- Díaz-Ramírez G., De León-García de Alba C., Nieto-Ángel D. and Mendoza-Castillo M. C. 2020. Gains in recurrent selection cycles for grain yield and resistance to head smut in maize. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(1): 61-74. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2008-1>
- Eschholz T. W., Stamp P., Peter R., Leipner J. and Hund A. 2010. Genetic structure and history of Swiss maize (*Zea mays* L. ssp. *mays*) landraces. *Genetic Resources and Crop Evolution* 57:71-84. <https://doi.org/10.1007/s10722-009-9452-0>
- Espinosa A., Tadeo M., Turrent A., Gómez N. Sierra M., Palafox A., Caballero F., Valdivia R. y Rodríguez F. A. 2009. El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. *Ciencias* 92: 118-125.
- Espinosa T. L. C., Rincón S. F., Ruíz T. N. A., Martínez R. J. M. y Benavides M. A. 2019. Respuesta ambiental de poblaciones nativas de maíz del sureste de Coahuila México. *Nova Scientia* 11(23): 108-125. doi.org/10.21640/ns.v11i23.1931

Fehr W. R. 1991. Principles of Cultivar Development: Theory and Technique. Vol. 1. Iowa State University. Ames, Iowa. USA. 536 p.

González C. M. E., Palacios R. N., Espinoza B. A. y Bedoya S. C. A. 2013. Diversidad genética en maíces nativos mexicanos tropicales. Revista Fitotecnia Mexicana 36(3-A): 329-338. <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.3-S3-A.329>

Hallauer A. R., Carena M. J. and Miranda F. J. B. 2010. Quantitative Genetics in Maize Breeding. Handbook of Plant Breeding. Springer Sciencie and Business Media. New York. 663 p. doi:10.1007/978-1-4419-0766-0

IRRI. 2007. CropStat for Windows Versión 7.2. International Rice Research Institute. Metro Manila, Philippines.

Maya L. J. B. y Ramírez D. J. L. 2002. Selección recurrente en tres poblaciones de maíz para el subtrópico de México. Revista Fitotecnia Mexicana 25(2): 201-207. <https://doi.org/10.35196/rfm.2002.2.201>

Nájera C. L. A., Rincón S. F., Ruiz T. N. A. y Castillo G. F. 2010. Potencial de rendimiento de poblaciones criollas de maíz de Coahuila, México. Revista Fitotecnia Mexicana 33: 31-36.

Rincón S. F., Catillo G. F. y Ruiz T. N A. 2010. Diversidad y Distribución de los Maíces Nativos en Coahuila, México. Sociedad Mexicana de Fitotecnia. Chapingo, México. 123 p.

Rincón, S. F. y Ruiz T. N. A. 2015. Maíces nativos en el estado de Coahuila, México. Revista Claridades Agropecuarias Edición especial: 40-44. SAGARPA-ASERCA. Disponible en línea <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/especial-201509.asp>

Rincon-Sanchez, F. and Ruiz-Torres N. A. 2018. Assessing maize diversity and defining a representative subset by means of selected morphological ear traits. *Plant Genetic Resources* 16(6): 488-497 doi:10.1017/S1479262118000047

Santiago-López N., García-Zavala J., Espinoza-Banda A., Santiago López U., Esquivel-Esquivel G. y Molina-Galán J. D. 2020. Adaptación de maíz tuxpeño a valles altos de México mediante selección masal. *Revista Fitotecnia Mexicana* 43(3): 259-265. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.3.259>

SAS Institute Inc. 2022. SAS/STAT® User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 8848 p.

SIAP 2023. Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Consulta: 7 de febrero 2024. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Velasco-García A. M., García-Zavala J. J., Sahagún-Castellanos J., Lobato-Ortiz R., Sánchez-Abarca C. y Marín-Montes I. M. 2019. Rendimiento, componentes de rendimiento y heterosis de germoplasma de maíz adaptado a valles altos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42(4):367-374. <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.4.367>

Yan W. 2014. Crop Variety Trials: Data Management and Analysis. John Wiley & Sons. Otawa, Canada. 351 p.

Zhi-Zhai L., Rong-Hua G., Jiu-Ran Z., Yi-Lin C., Feng-Ge W., Mo-Ju. C., Rong-Huan W., Yun-Su. S., Yan-Chun. S., Tian-Yu W. and Yu, L. 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.