

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Interacción Genotipo por Ambiente en Poblaciones Nativas de Maíz  
Sobresalientes para la Producción de Grano Amarillo en el Sureste de Coahuila

Por:

**JESÚS MARTIN CRUZ FLORES**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Interacción Genotipo por Ambiente en Poblaciones Nativas de Maíz  
Sobresalientes para la Producción de Grano Amarillo en el Sureste de Coahuila

Por:

**JESÚS MARTIN CRUZ FLORES**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría



Dr. Francisco Javier Sánchez Ramírez

Asesor Principal



Dra. Norma Angélica Ruíz Torres  
Coasesor



Dr. José Luis Velasco López  
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2024

## Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Autor Principal



---

Jesús Martín Cruz Flores

## AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por haberme dado la oportunidad de pertenecer como uno de sus estudiantes y darme una formación profesional.

A mi asesor, el **Dr. Francisco Javier Sánchez Ramírez** por haberme dado la oportunidad de trabajar en uno de sus proyectos de tesis, por su paciencia, disponibilidad de tiempo y sus conocimientos brindados en la culminación de este proyecto.

A los asesores: **Dra. Norma Angélica Ruíz Torres** y **Dr. José Luis Velasco López**, gracias por su valioso tiempo y dedicación a la revisión del proyecto de tesis.

A mis tíos: **Carlos, Ricardo y Clemente**, gracias por su apoyo moral y los consejos brindados para culminar la carrera.

A mis amigos: **Sacramento, Esmeralda, Cielo, Abel, Adán, José Alfredo y Miguel Ángel** por brindarme una amistad durante el transcurso de la carrera.

A **Lucia Martínez** por haberme apoyado y motivado desde el inicio de la carrera a seguir siempre adelante.

## DEDICATORIA

A **Dios** por bendecirme y darme salud para concluir una meta más en mi vida.

A mis padres: **Isela Flores Martínez y Martin Cruz Catarina** por hacer todo el esfuerzo posible de apoyarme para lograr una formación profesional, gracias por haber confiado en mí, este logro es igualmente de ustedes y siempre estaré agradecido por todo el apoyo que me brindaron.

A mis hermanos: **Sandy y Alfredo** por haberme motivado a seguir adelante en el transcurso de la carrera.

## RESUMEN

En un programa de mejoramiento genético en maíz, las principales características para seleccionar genotipos de interés son el rendimiento de grano y la estabilidad fenotípica, por lo que comúnmente se evalúan diferentes genotipos a través de diferentes localidades; esto permite conocer la interacción genotipo por ambiente, y hace posible clasificar a los genotipos en función de su rendimiento o alguna otra característica de interés, como estables a través de los ambientes o con adaptación específica a un determinado ambiente. El objetivo de esta evaluación consistió en definir la interacción genotipo por ambiente de veinte poblaciones nativas de maíz de grano amarillo a través del rendimiento de grano y características agronómicas en tres diferentes sitios que corresponden a dos localidades del sureste de Coahuila. Esta investigación se realizó en el ciclo Primavera-Verano de 2023 en los ambientes 1) El Mezquite, Galeana, N.L y 2) en el campo experimental El Bajío de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila (Sitio1: El Pozo y Sitio2: El Nogal). Las poblaciones nativas originalmente fueron obtenidas del Centro de Conservación de Semillas Ortodoxas Región Norte de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; estas poblaciones son el resultado de la recombinación de un ciclo de selección recurrente de familias de hermanos completos, además, se incluyó la variedad JAGUAN, cuatro complejos genéticos (POOL33, POOL34, POOL14 y POOL18) obtenidos del Centro internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y un híbrido comercial (Rx715). Los resultados mostraron que los genotipos que expresaron buen rendimiento de grano y estabilidad fueron: COAH226 (Ratón) con  $7.5 \text{ t ha}^{-1}$ ; COAH215-1 (Tuxpeño) con  $7.4 \text{ t ha}^{-1}$ ; COAH269-2 (Tuxpeño Norteño) con  $7.1 \text{ t ha}^{-1}$ ; COAH275 (Celaya) con  $7.2 \text{ t ha}^{-1}$ ; Pool4 (CIMMYT) con  $9.1 \text{ t ha}^{-1}$  y Rx715 (Híbrido comercial) con  $8.2 \text{ t ha}^{-1}$ . Los ambientes de evaluación mostraron diferencias en la expresión de las características evaluadas; El Mezquite fue la localidad con el ciclo más prolongado mientras que El Nogal y El Pozo fueron muy similares y precoces.

El valor medio de la floración femenina se encontró en alrededor de 82 días después de la siembra; en este sentido se encontró que R715 (híbrido comercial) fue el genotipo más precoz y estable.

**Palabras clave:** maíz nativo, Coahuila, rendimiento, interacción genotipo por ambiente.

## ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN .....	1
I.1 Objetivos.....	3
I.2 Hipótesis .....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Situación del maíz en el estado de Coahuila .....	4
2.2 Importancia del maíz nativo .....	5
2.3 Mejoramiento genético en maíz.....	6
2.4 Interacción genotipo por ambiente.....	8
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
3.1 Material genético.....	11
3.2 Ubicación del sitio experimental .....	12
3.3 Diseño experimental .....	13
3.4 Manejo agronómico del experimento .....	13
3.5 Variables evaluadas.....	14
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	16
4.1 Análisis de varianza de las poblaciones nativas evaluadas en las localidades El Mezquite, Galeana, N.L y El Bajío, Buenavista, Saltillo, Coah. ....	16
4.2 Efecto de los sitios de evaluación sobre las características agronómicas. ...	18
4.3 Características agronómicas de las poblaciones evaluadas.....	21
4.4 Análisis de la interacción genotipo por ambiente para rendimiento de grano y días a floración femenina. ....	23
V. CONCLUSIONES.....	28
VI. LITERATURA CITADA .....	29

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Genotipos evaluados, número de poblaciones por grupo racial y área de adaptación de poblaciones de maíz nativo con elevado pigmento amarillo presente en el estado de Coahuila. ....	11
Cuadro 2. Coordenadas geográficas de las localidades de evaluación. ....	12
Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de las poblaciones nativas evaluadas en las localidades, El Mezquite y El Bajío. ....	17
Cuadro 4. Valores medios de los sitios de evaluación para características agronómicas y rendimiento de grano en poblaciones de maíz nativo amarillo en el ciclo P-V 2023. ....	20
Cuadro 5. Valores medios de la expresión de características agronómicas de las poblaciones nativas de grano amarillo por grupo racial evaluadas durante el ciclo PV 2023. ....	22
Cuadro 6.- Análisis de varianza y Prueba de Gollob para el rendimiento de grano y días de floración femenina en la evaluación de poblaciones nativas de maíz amarillo en tres sitios de estudio de condiciones ambientales contrastantes. ..	23

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Rendimiento de grano e interacción genotipo por ambiente (CP1) de las poblaciones evaluadas en condiciones ambientales contrastantes. El Pozo y el Nogal en Buenavista, Saltillo, Coahuila y El Mezquite, Galeana, Nuevo León. Ciclo PV 2023..... 24

Figura 2.- Días de Floración Femenina e interacción genotipo por ambiente (CP1) de las poblaciones evaluadas en condiciones ambientales contrastantes. .... 26

## I. INTRODUCCIÓN

El maíz es el cultivo más importante de México, por su valor económico, social y cultural. La producción de maíz se clasifica de acuerdo al color del grano en blanco y amarillo; el maíz blanco se destina para consumo humano como por ejemplo para la elaboración de tortillas y tamales. El grano de maíz amarillo se emplea en la industria y en la fabricación de alimento para el consumo pecuario.

La producción de maíz se lleva a cabo bajo dos diferentes modalidades hídricas: riego y temporal; en la primera, la producción se realiza principalmente con semilla mejorada, especialmente híbridos; por otra parte, en condiciones de temporal, la producción es con poblaciones nativas, dada la adaptación que estas han desarrollado bajo la selección de los productores.

En la producción nacional, el área de temporal aporta, dependiendo de la precipitación anual, entre el 40 y 50 % de la producción nacional, por lo tanto, las poblaciones nativas siguen siendo un significativo factor de estudio y de mejora genética.

En la actualidad, a través de diferentes programas de mejoramiento, en instituciones públicas de investigación se han desarrollado variedades que pueden ayudar a incrementar la producción del maíz; sin embargo, los pequeños productores prefieren las poblaciones nativas, ya que, mencionan que las poblaciones nativas pueden sobrevivir en condiciones ambientales críticas, donde éstas les permite obtener rendimiento de grano o forraje. Algunas otras ventajas que tienen las poblaciones nativas en comparación con las variedades mejoradas son el mejor manejo del riesgo agrícola, adaptación a las condiciones climáticas locales, estabilidad a la variabilidad climática, costos más bajos de los insumos necesarios para su producción.

En un programa de mejoramiento genético vegetal el reto es seleccionar genotipos de interés con características de rendimiento, estabilidad y adaptabilidad. El rendimiento es una de las características más importantes para realizar evaluaciones en el cultivo de maíz en diferentes localidades, donde los efectos ambientales (A) representan el mayor porcentaje de la suma de cuadrados totales, comparados con los genotipos (G) y la interacción genotipo-ambiente (IGA). La estabilidad es la capacidad que tiene el genotipo al comportarse consistentemente con altos o bajos niveles de rendimiento a través de diferentes ambientes y la adaptabilidad es la capacidad del genotipo en lograr un excelente desempeño óptimo en diversas condiciones ambientales.

Tomando en cuenta lo anterior, los objetivos del presente trabajo consistieron en evaluar la interacción genotipo por ambiente de poblaciones nativas sobresalientes para la producción de grano en el sureste de Coahuila, a través del rendimiento de grano y de características agronómicas, con la finalidad de identificar poblaciones estables y emplearlas para la producción en el área de estudio.

## **I.1 Objetivos**

### **General**

Evaluar la interacción genotipo por ambiente de 19 poblaciones nativas sobresalientes para la producción de grano en el sureste de Coahuila, a través del rendimiento de grano y de características agronómicas, con la finalidad de identificar poblaciones estables y emplearlas para la producción en el área de estudio.

### **Específicos**

Identificar mediante una evaluación agronómica en sitios ambientales contrastantes, el desempeño de la producción de poblaciones nativas de grano amarillo.

Determinar mediante un análisis gráfico la expresión del rendimiento y la interacción genotipo por ambiente de poblaciones con características deseables para la producción en el sureste de Coahuila.

## **I.2 Hipótesis**

**Ho:** Debido a la selección realizada por los productores regionales en sus poblaciones nativas para sus parcelas agrícolas, estas no presentan estabilidad y adaptabilidad a través de los sitios de evaluación.

**Ha:** las poblaciones nativas presentaran estabilidad y adaptabilidad a través de los sitios de evaluación.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Situación del maíz en el estado de Coahuila

El maíz en México es el cultivo que ocupa la mayor superficie agrícola, se establece en 6.6 millones de hectáreas que representan 39 % de la superficie agrícola nacional; entre estas, 5.6 millones de hectáreas se siembran en condiciones de temporal y 1.5 millones bajo riego; sin embargo, el rendimiento promedio bajo temporal es de 2.47 t ha<sup>-1</sup> y aporta el 40 % de la producción nacional de este grano. El 88% de la producción nacional es maíz blanco, 11% es amarillo y el restante a otros tipos de maíz, principalmente de especialidad. El cultivo de maíz se realiza bajo diversos sistemas de producción que se determinan de acuerdo con las condiciones agroclimáticas, orográficas, económicas, culturales, etc., con las que cuente el productor; se siembra en cada uno de los estados del país; sin embargo, seis estados obtienen el 65 % de la producción nacional: Sinaloa, Jalisco, Guanajuato, Chihuahua, Michoacán, México y Veracruz (SIAP, 2021).

El maíz de grano amarillo es importante por la demanda del sector pecuario e industrial, los cuales provocan la importación de cerca de 16 millones de toneladas al año, por esto es necesario impulsar la producción de maíz amarillo, además de las bondades que este grano ofrece.

La producción de maíz amarillo, con el uso de variedades mejoradas obtiene un rendimiento promedio de 9.5 t ha<sup>-1</sup>, que para muchos productores y pagado a un precio de \$ 5,400.00 no es atractivo de forma económica (LAMSA, 2019).

## 2.2 Importancia del maíz nativo

México se le reconoce como el centro de origen, domesticación y diversificación del maíz, y se reporta que existen 59 razas (Sánchez *et al.*, 2000), además representa un porcentaje del 26 % significativo de las 220 a 300 razas de maíz que existen en el continente americano (Kato *et al.*, 2009).

Las variedades mejoradas e híbridos han mostrado ser notablemente superiores a las nativas en rendimiento, pero aun así los pequeños productores prefieren las poblaciones nativas; esto se debe a las ventajas que se han identificado en estas, que en su mayoría se siembran en los terrenos edafoclimáticamente adversos (Turrent *et al.*, 2012), donde se ha reportado que los nativos pueden sobrevivir y producir donde las variedades mejoradas no tienen oportunidad (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2010).

Algunas ventajas que tienen las poblaciones nativas en comparación con las variedades mejoradas son: mejor manejo del riesgo agrícola, adaptación a las condiciones climáticas locales, estabilidad a la variabilidad climática, costos más bajos de los insumos necesarios para su producción, y muy importante, aptitud para la elaboración de preparaciones culinarias tradicionales (Guillén-Pérez *et al.*, 2002; Turiján-Altamirano *et al.*, 2012; Turrent *et al.*, 2012).

Los cambios en la temperatura, presencia de heladas y etapas prolongadas de sequía son algunos de los problemas del cambio climático y que afectan a la producción de maíz, particularmente en condiciones de secano. En México, la producción de maíz bajo temporal sufre el incremento de las temperaturas y la reducción de la precipitación como consecuencia de este fenómeno (Hellin *et al.*, 2014).

En el estado de Coahuila, en la parte sureste, se encontraron ocho grupos raciales de maíz: Celaya, Cónico Norteño, Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Olotillo, Ratón, Tuxpeño y Tuxpeño Norteño en una altitud que va desde los 887 hasta los 2557 m (Rincón *et al.*, 2010; Rincón y Ruiz, 2015).

El estado de Coahuila no se reconoce como un estado productor del maíz a nivel nacional; la superficie sembrada, según el SIAP (2023) en el ciclo agrícola 2023, se sembraron 34,144 ha, de estas en 15,471 se sembró maíz para grano y en 18,673 ha para la producción de forraje. Los municipios con mayor superficie sembrada fueron Saltillo (5,130 ha), General Cepeda (2,595 ha), Arteaga (2,580 ha), Parras (1,590 ha) y Ramos Arizpe (1,220 ha) (SIAP 2023).

### **2.3 Mejoramiento genético en maíz**

En el mejoramiento genético existen dos sistemas: hibridación y selección; para lograr que la selección sea efectiva en el manejo de genotipos de maíz, es necesario que la variabilidad genética sea del tipo aditivo; de lo contrario, el método de mejoramiento adecuado sería la hibridación (Sprague, 1966).

Después de realizar el mejoramiento por selección, la variabilidad puede ser reducida y los avances son más lentos y difíciles de detectar (Briggs y Knowles, 1967).

En poblaciones no mejoradas de maíz, la proporción de varianza genética aditiva es mayor que la varianza genética de dominancia, pero la proporción disminuye conforme aumentan los ciclos de selección recurrente (Hallauer y Miranda, 1981; Márquez, 1987; Molina, 1992), ya, que, la selección explota principalmente la varianza genética aditiva. Es decir, la varianza aditiva y de dominancia, pueden detonar al combinar metodologías de selección e hibridación.

La selección permite que los genotipos se reproduzcan más que otros. Como resultado, genotipos con características de interés dejarán la mayor descendencia. A medida que la selección es practicada de generación en generación, algunos genes se hacen más frecuentes y otros menos frecuentes en la población. La selección genética es un proceso de dos pasos: Primero, las

poblaciones con un genotipo superior son identificados y, segundo, estas poblaciones servirán como padres para la nueva generación.

La selección recurrente es un proceso cíclico de selección-recombinación entre individuos sobresalientes, diseñado para reunir combinaciones de genes favorables, mantener la variabilidad genética y obtener avances genéticos (Ramya *et al.*, 2016), y tiene diversos beneficios tales como el rápido desarrollo de un ciclo de selección y la creación de genotipos superiores por la acumulación continua de alelos favorables, gracias a la facilidad de cruzamiento entre docenas de líneas progenitoras (Pang *et al.*, 2017). La selección se recomienda para caracteres de baja heredabilidad, ya que mejora la media poblacional y mantiene la variabilidad genética de la población, lo que permite continuar la selección a través de los ciclos de mejoramiento. Para llevar a cabo un ciclo de selección recurrente de familias se debe realizar los siguientes pasos: 1) Obtención de familias, mediante polinización controlada, 2) Evaluación de las familias en diferentes ambientes y 3) Recombinación de las mejores familias con características superiores o de interés para el mejorador (Márquez, 1985; Hallauer *et al.*, 2010).

La selección recurrente puede ser inter o intrapoblacional, la selección intrapoblacional involucra el mejoramiento de una población, y los métodos más comunes para hacerlo son la selección masal y la familiar en cualquiera de sus variantes: medios hermanos paternos o maternos, hermanos completos y de autohermanos. El método de hermanos completos es más eficiente que el masal y que el de medios hermanos debido a que permite un mejor control parental, por lo que la respuesta a la selección es de mayor magnitud (Márquez, 1985).

Diaz *et al.* (2021) realizaron un estudio por el método de selección recurrente en poblaciones de familias S<sub>1</sub> para mejorar el rendimiento y la resistencia al carbón de la espiga y mencionaron que les resultó efectivo para incrementar el rendimiento de grano en poblaciones de endospermo blanco y amarillo y además obtuvieron una excelente resistencia al patógeno.

Pérez *et al.* (2016) realizaron un trabajo de selección en familias de hermanos completos en dos poblaciones de maíces criollos y encontraron que los índices de selección fueron más eficientes por presentar mayores ganancias genéticas en altura de planta, altura de mazorca, floración masculina y floración femenina, así como longitud de mazorca asociadas al rendimiento de grano. Además, se encontró correlación genética positiva entre rendimiento de grano con las variables mencionadas anteriormente.

## **2.4 Interacción genotipo por ambiente**

La adaptación amplia puede identificar genotipos cuyo comportamiento sea superior en ambientes pobres y ricos, estos ambientes pueden estar caracterizados por condiciones de estrés. Un cultivar estable bajo estas circunstancias poseerá una baja interacción genotipo por ambiente. La importancia que tienen los factores responsables del rendimiento a través de ambientes contrastantes, y la fracción de esos factores específicos es muy relevante para entender la estabilidad del rendimiento y puede abrir un camino para el desarrollo de criterios de selección adicionales al rendimiento (Blum, 1988).

La interacción genotipo por ambiente es el comportamiento de los genotipos a través de condiciones ambientales variables, está presente durante el proceso de selección. La formación de nuevos genotipos requiere la evaluación de los materiales genéticos en diferentes ambientes y la medición de la interacción genotipo-ambiente, la cual da una idea sobre la estabilidad fenotípica de los genotipos ante las fluctuaciones ambientales (Sánchez *et al.*, 2015).

Al incrementar el rendimiento se puede lograr la óptima adaptación del genotipo a cada ambiente de producción, así la conjunción de caracteres deseables tales como la calidad del grano y la resistencia al estrés abiótico y biótico. Otro punto que el mejorador requiere es la evaluación de la magnitud y la dirección de la asociación entre el rendimiento de grano y sus componentes, así como la

importancia relativa de cada factor involucrado en la contribución al rendimiento de grano (Agrama, 1996).

El rendimiento de grano es una de las características más importantes para realizar evaluaciones en el cultivo de maíz en diferentes localidades, ya que los efectos ambientales (A) cuentan con el mayor porcentaje de la suma de cuadrados sobre los genotipos (G) y la interacción genotipo-ambiente (IGA) (Lozano-Ramírez *et al.*, 2015; López-Morales *et al.*, 2019). El rendimiento influenciado por las variaciones ambientales; la selección de genotipos superiores con base en el rendimiento de grano *per se* en una localidad en un año puede no ser muy exitoso; por lo tanto, la evaluación de genotipos para determinar su estabilidad en rendimiento bajo diferentes condiciones del medio es esencial en los programas de mejoramiento genético. La comprensión de las causas de la interacción genotipo por ambiente (IGA) puede ayudar a identificar ambientes y variedades de mayor estabilidad (Farshadfar *et al.*, 2011).

La magnitud de la IGA en el rendimiento de grano es un resultado combinado de los efectos del genotipo, el medio ambiente y la IGA, siendo el genotipo y la IGA los más relevantes para la evaluación de variedades y la identificación de ambientes (Yan *et al.*, 2000). Al momento de analizar la IGA esta nos permite reportar la información necesaria para poder identificar genotipos estables de alto rendimiento y con rasgos deseables, y con base en ello poder recomendar nuevos genotipos para su liberación como variedad comercial (Lule *et al.*, 2015).

Alguno de los problemas con los que se encuentran los fitomejoradores en busca de genotipos con rendimientos mayores para diferentes localidades o condiciones ambientales son la estabilidad y la adaptabilidad (Lozano-Ramírez *et al.*, 2015).

La estabilidad es la capacidad que tiene un genotipo al comportarse consistentemente con altos o bajos niveles de rendimiento a través de diferentes ambientes y la adaptabilidad es la capacidad del genotipo en lograr un excelente desempeño óptimo en diversas condiciones ambientales (Vargas *et al.*, 2016).

Para llevar a cabo el estudio de la estabilidad y la adaptabilidad genotípica, los modelos más empleados son el de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) y los sitios de regresión (SREG) (Farias *et al.*, 2016).

El AMMI complementa el análisis de varianza con el análisis de componentes principales, con el supuesto de que los productos principales (G y E) son de naturaleza aditiva y la interacción GA es de naturaleza multiplicativa (Neisse *et al.*, 2018), mientras que el SREG elimina el efecto ambiental individual (G + GA) para examinar solo el efecto de los G y la interacción GA. Es recomendable evaluar diversos genotipos (variedades experimentales y comerciales) ya que las condiciones ambientales cambian año tras año, aun así, en las mismas localidades. Es necesario realizar evaluaciones en diferentes localidades y durante varios años para seleccionar los materiales con mayor estabilidad y adaptabilidad (Camargo-Buitrago *et al.*, 2011).

Samano *et al.* (2006) realizaron un estudio de los grupos enano y precoz mencionan que presentaron una amplia variabilidad genética, la interacción genotipo por ambiente presentó un papel importante en la expresión fenotípica de los híbridos, ya que descomponiendo la interacción a través de modelos lineales-bilineales como el AMMI, se generó información más confiable, por lo que se mejoró el proceso de selección.

María *et al.* (2003) menciona que la baja producción de maíz se debe a la lluvia, heladas tempranas, granizadas, profundidad del suelo, textura de la capa arable, pendiente y baja fertilidad de los suelos, alto grado de erosión, además del uso de variedades criollas de bajo rendimiento, tardías y susceptibles al acame. Por ello se requiere de genotipos que mantengan un comportamiento estable en diferentes localidades y años, además de un rendimiento alto, lo cual es factible en función del potencial genético del híbrido, principalmente (Arellano *et al.*, 2011).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Material genético

La evaluación incluyó 19 poblaciones de maíz nativo amarillo del estado de Coahuila; las cuales fueron obtenidas del Centro de Conservación de Semillas Ortodoxas Región Norte de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, donde se realizó una selección de granos pigmentados. Las poblaciones evaluadas se incluyen en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Genotipos evaluados, número de poblaciones por grupo racial y área de adaptación de poblaciones de maíz nativo con elevado pigmento amarillo presente en el estado de Coahuila.

<b>Grupo racial</b>	<b>Poblaciones Amarillas</b>	<b>Área de adaptación (Altitud)</b>
Tuxpeño	5	Baja, intermedio
Tuxpeño norteño	5	Baja, intermedio
Ratón	6	Baja, intermedio
Celaya	3	Intermedio
Jaguan	1	Altura, intermedio
Pool	4	Altura, Intermedio
Rx715	1	Altura, Intermedio
<b>Total</b>	<b>25</b>	

Altura (> 2000 m); Transición (1801-200); Intermedio (1001-1800 m); Bajas (0-1000 m).

Las poblaciones evaluadas fueron el resultado de la recombinación después de un ciclo de selección recurrente de familias de hermanos completos.

El estudio incluyó como testigos a la variedad Jaguan, cuatro complejos genéticos (POOL33, POOL34, POOL14 y POOL18) obtenidos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), e incrementados en el Campo Experimental El Bajío, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro además se evaluó también un híbrido comercial.

### 3.2 Ubicación del sitio experimental

La evaluación agronómica se realizó en el ciclo Primavera-Verano (PV) 2023 en el campo experimental El Bajío (en dos sitios, El Pozo y El Nogal) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en Buenavista Saltillo, Coah., y en El Mezquite, Galeana, Nuevo León, localidad representativa de las condiciones ambientales y agrícolas de la región en el sureste del estado de Coahuila. Las evaluaciones se llevaron a cabo bajo condiciones de riego. La localización geográfica del sitio de evaluación se presenta en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Coordenadas geográficas de las localidades de evaluación.

Coordenadas geográficas	El Bajío UAAAN	El mezquite, Galeana, N. L
Latitud norte	25° 21' 31"	25° 05' 22''
Longitud oeste	101° 02' 25"	100° 42' 31"
Altitud (msnm)	1750	1910
Temperatura media	22 °C	24° C
Precipitación (mm)	400	681

Fuente: (INEGI 2020)

### 3.3 Diseño experimental

El experimento en campo se realizó en un diseño experimental de bloques incompletos con arreglo alfa látice (0,1) (Barreto *et al.*, 1997), con dos repeticiones por localidad. El diseño fue generado con el software CropStat (IRRI, 2007). La unidad experimental fue de un surco de 4 m de largo, donde se depositaron 30 semillas espaciadas a 0.2 m entre plantas, para posteriormente realizar un aclareo y dejar 21 plantas por parcela, la distancia entre surcos fue de 0.80 m en ambas localidades.

### 3.4 Manejo agronómico del experimento

**Siembra:** en el campo experimental “El Bajío” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, se llevó a cabo en dos repeticiones; cada repetición se estableció en fechas diferentes, para el sitio El Nogal se realizó la siembra el 20 de mayo, en El Pozo el 27 de mayo y en El Mezquite el 6 de mayo del 2023.

**Fertilización:** se utilizó urea (46-00-00) y triple 17 (17-17-17) para aplicar una dosis de fertilización en ambas localidades con 200N-100P-100K; se aplicó el 50 % de nitrógeno y el 100 % de fósforo y potasio al momento de la siembra; el complemento del nitrógeno se aplicó previo al aporque.

**Riegos:** la frecuencia de los riegos se aplicó cada tercer día, se estableció desde la siembra del maíz hasta la maduración del grano (R6).

**Labores culturales:** se realizó la aplicación de insecticidas: Malathion, Pounce y Palgus; el Malathion se aplicó a los 40 días de haberse realizado la siembra para el control de diabrótica (*Virgifera zea*), la aplicación de los demás insecticidas se aplicó cuando el cultivo tenía un gran índice de daño. El herbicida que se aplicó para el control de malezas fue Atrazina, se aplicó a los 20 días de haber realizado el establecimiento del cultivo y posteriormente se aplicó cuando se determinaba la presencia de malezas; el aclareo, la escarda y el aporque

fueron realizados de acuerdo con el desarrollo y necesidades del cultivo en cada localidad.

### 3.5 Variables evaluadas

Las variables agronómicas evaluadas fueron las que a continuación se describen:

**Altura de planta (ALPTA) (cm):** Se obtuvo de una planta representativa con competencia completa en cada unidad experimental, se consideró la longitud desde la base del tallo hasta la lígula de hoja bandera.

**Días a floración masculina (DFM) y femenina (DFF):** Se obtuvieron a partir del conteo de los días transcurridos desde la siembra hasta el 50 + 1 % de las plantas de la parcela que se encontraron en antesis, y cuando los jilotes presentaron estigmas, respectivamente.

**Asincronía de la floración (ASF):** la diferencia en días entre la floración femenina con respecto a la floración masculina.

**Rendimiento de grano (RTO, en t ha<sup>-1</sup> y ajustado a 14 % de humedad):** Se estimó considerando el porcentaje de desgrane y el peso seco (PS) con un factor de conversión (FC) considerando el siguiente procedimiento:

**El peso seco (PS)** se determinó al multiplicar el peso del grano en campo (PC) por el contenido de humedad en la unidad experimental:

$$PS = PC \times [1 - (HUM / 100)]$$

Posteriormente, el PS fue multiplicado por un factor de conversión (FC) para estimar el rendimiento de grano en t ha<sup>-1</sup>, al 14 % de humedad, de la siguiente manera:

$$= [(100 / 86) \times (10,000 / APU)] / 1,000$$

**Dónde:**

Área de parcela útil (APU), fue determinada mediante el número de plantas por unidad experimental por la distancia entre plantas por la distancia entre surcos (21 x 0.20 x 0.80 m).

100/86 fue el coeficiente para obtener el rendimiento al 14 % de contenido de humedad del grano

10, 000, es la superficie de una hectárea en m<sup>2</sup>.

$RTO = PS \times FC$ .

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis de varianza de las poblaciones nativas evaluadas en las localidades El Mezquite, Galeana, N.L y El Bajío, Buenavista, Saltillo, Coah.

En el Cuadro 3 se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza (ANAVA) de cinco variables estudiadas para determinar la interacción genotipo x ambiente (IGA), en poblaciones de maíz de grano amarillo nativas del sureste de Coahuila.

El análisis de varianza muestra diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para ALPTA, DFM, DFF y RTO y diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en ASF, esto demostró la asociación de las localidades con diferencias en factores ambientales como la humedad, temperatura y precipitación para que haya una variación en los datos.

Los genotipos, dada la variación entre el origen racial y ecológico de las poblaciones mostraron diferencias significativas para cada variable estudiada.

En la determinación de interacción localidades por genotipos y donde se encuentra la interacción genotipo por ambiente, se encontró que esta fue significativa únicamente para altura de la planta y rendimiento de grano, mientras que no hubo modificaciones en la floración; estos resultados indicaron que las diferencias ambientales produjeron diferencias sobre el tamaño de la planta y la producción pero no en la floración, es decir, interacción para las dos primeras características y estabilidad para la floración.

López *et al.*, (2017) realizaron un estudio en la Interacción genotipo por ambiente, estabilidad del rendimiento y calidad de grano en maíz Tuxpeño y mencionan que la selección para adaptación, condiciones del cultivo y el efecto del ambiente durante su desarrollo modificaron favorablemente el rendimiento y algunas de las características de calidad del grano de los genotipos.

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de las poblaciones nativas evaluadas en las localidades, El Mezquite y El Bajío.

FV	GL	RTO t ha <sup>-1</sup>		DFM días		DFF días		ASF días		ALPTA cm	
Localidades (Loc)	2	123.71	**	6441.38	**	5866.22	**	25.04	*	15016.60	**
Repeticiones/Loc	3	5.96	ns	11.33	ns	14.81	ns	1.37	ns	201.15	ns
Rep(Loc*Bloques)	12	3.22	ns	5.66	ns	5.08	ns	4.57	ns	510.68	**
Genotipos (Gen)	20	4.26	*	44.05	**	74.35	**	11.38	**	1122.53	**
Loc*Gen	40	5.34	**	5.72	ns	5.35	ns	4.54	ns	5095.86	**
Error		2.39		5.33		3.87		5.10		148.99	ns
C.V. %		23.74		2.89		2.38		81.04		5.70	

\*\* , \* = Significativo a ( $P \leq 0.01$ ) y ( $P \leq 0.05$ ) de probabilidad, respectivamente; FV = Fuente de variación; GL=Grados de libertad; RTO= Rendimiento de grano; DFM= Días a floración masculina; DFF= Días a floración femenina; ASF= Asincronía floral; ALPTA= Altura de planta; d= días; CV= Coeficiente de variación.

## **4.2 Efecto de los sitios de evaluación sobre las características agronómicas.**

En el Cuadro 4 se muestran los valores medios de las características evaluadas en cada ambiente de estudio, entre las cuales y con base en la prueba de medias se encontraron diferencias en la expresión.

El Pozo y el Nogal fueron dos ambientes de evaluación en la misma localidad y por lo tanto no se encontraron diferencias significativas entre ellos, excepto en la variable asincronía floral.

Entre los ambientes de evaluación se observó que El Mezquite es la localidad con mayor potencial para producción de maíz, donde se encontró el valor superior de rendimiento de grano; sin embargo, y como parte de su altitud, que define su origen ecológico como de transición, presentando los genotipos en estudio un ciclo tardío, como efecto directo del ambiente. En El Mezquite se desarrollaron más las plantas, presentando mayor altura. Las características climatológicas de El Mezquite resultan en un ciclo más prologando y por lo tanto mayor acumulación de biomasa, que al final se traduce en un mayor rendimiento de grano.

Los efectos ambientales entre los sitios de evaluación indujeron una disminución del RTO de  $3.14 \text{ t ha}^{-1}$  entre El Pozo y El Mezquite, y  $1.48 \text{ t ha}^{-1}$  de diferencia entre El nogal y El Mezquite, asimismo  $1.66 \text{ t ha}^{-1}$  entre El Nogal y El Pozo.

En DFM y DFF, el promedio de variación fue de 20 días entre El Pozo y la localidad de El Mezquite, de 18 días entre El Nogal y El Mezquite de 2 días de entre El Pozo y El Nogal; lo cual confirma, los orígenes ecológicos de los sitios de evaluación.

Entre las localidades, El Pozo fue la que mayor asincronía presentó, lo cual terminó afectando el rendimiento del grano; la asincronía en esa localidad de evaluación se asoció con una mayor deficiencia hídrica que ocurrió por la falta de disponibilidad de agua para riego que afectó al cultivo durante las primeras etapas del ciclo biológico.

En ALPTA hubo variación en las diferentes localidades, El Mezquite obtuvo la mayor altura (233.6 cm), mientras que, en Buenavista, El Nogal obtuvo 208.10 cm de altura y El Pozo obtuvo la menor altura con 200.52 cm.

Reyes *et al.*, (2017) mencionan que el modelo AMMI, el GGE biplot y análisis de sendero secuencial (ASS) les permitió identificar el germoplasma de maíz con estabilidad del rendimiento de grano y rendimiento de grano, además identificaron características asociadas con el rendimiento de grano (peso de mazorca, altura de planta, relación altura de planta/mazorca y número de mazorcas sanas) de híbridos de maíz cultivados en diferentes años y fechas de siembra en el norte de Tamaulipas, México.

Cuadro 4. Valores medios de los sitios de evaluación para características agronómicas y rendimiento de grano en poblaciones de maíz nativo amarillo en el ciclo P-V 2023.

Localidades	RTO t ha <sup>-1</sup>		DFM d		DFF		ASF d		ALPTA cm	
Mezquite	8.05	a <sup>†</sup>	92.88	a	95.1	a	2.22	b	233.6	a
Nogal	6.57	ab	74.16	b	76.72	b	2.56	b	208.1	b
Pozo	4.91	b	72.4	b	75.98	b	3.58	a	200.52	b
DMS	2.04		2.81		3.21		0.97		11.85	

RTO = Rendimiento de grano; DFM= Días a floración masculina; DFF= Días a floración femenina; ASF = Asincronía floral; ALPTA= Altura de planta; DMS = Diferencia Mínima Significativa; <sup>†</sup> = medias con las mismas letras son estadísticamente iguales.

### **4.3 Características agronómicas de las poblaciones evaluadas.**

En el Cuadro 5 se presentan los valores medios de las características agronómicas evaluadas a través de las localidades; en este se pueden observar los orígenes raciales de cada población.

En la evaluación se representaron los grupos raciales de mayor importancia en la región sureste de Coahuila; los genotipos evaluados mostraron un intervalo del rendimiento de 9.1 t ha<sup>-1</sup> a 4.9 t ha<sup>-1</sup>, es decir, una diferencia de 4.2 t ha<sup>-1</sup>. El genotipo sobresaliente fue el Pool4 (CIMMYT) con 9.1 t ha<sup>-1</sup>; otras poblaciones que destacaron por tener un rendimiento promedio de al menos 7 t ha<sup>-1</sup> fueron COAH226 (Ratón), COAH269-2 (Tuxpeño Norteño), COAH275 (Celaya), COAH215-1 (Tuxpeño), Rx715 (Híbrido Comercial).

Entre la diversidad evaluada, la floración mostró un intervalo de 73 a 90 DFF y una media de 82 días, los materiales más precoces y de mayor interés, dadas las condiciones regionales para la producción fueron Pool33, Pool4, Pool18, Jaguan (Testigo) y Rx715 (Híbrido Comercial).

En la asincronía floral, la variación fue de más de 5 días (0.5 – 5.8 d); sin embargo, aunque en algunos casos la asincronía parece elevada, no se observó una relación entre la asincronía floral y el rendimiento, toda vez que, los rendimientos menores no necesariamente presentaron la mayor asincronía.

En cuanto a ALPTA el genotipo superior fue de 245 cm y el inferior de 176.8, y una media de 214.07 cm. Dentro de ese rango, 14 genotipos fueron superiores: COAH077-1, COAH226-1, COAH016-1, COAH016-2 (Ratón), COAH177-1, COAH177, COAH213-1, COAH213, COAH215-1 (Tuxpeño), COAH269-2 (Tuxpeño Norteño) COAH075-1, COAH075-2, COAH275 (Celaya) y JAGUAN (Testigo).

Cuadro 5. Valores medios de la expresión de características agronómicas de las poblaciones nativas de grano amarillo por grupo racial evaluadas durante el ciclo PV 2023.

Grupo Racial	Poblaciones	Rto t ha <sup>-1</sup>		DFM días	DFF días	ASF días	ALPTA cm	
Ratón	COAH077-1	5.7		79.5	80.7	1.2	218.6	
	COAH226-1	5.5	b <sup>†</sup>	80.8	84.5	3.7	216.3	
	COAH226	7.5		78.3	81.2	2.8	209.0	
	COAH016-1	5.6	b	82.7	87.2	4.5	223.8	
	COAH016-2	5.9		82.3	84.3	2.0	220.1	
	COAH016	6.2		81.7	86.2	4.5	200.1	
Tuxpeño	COAH177-1	4.9	b	80.3	82.7	2.3	221.6	
	COAH177	6.3		79.2	82.0	2.8	245.0	a
	COAH213-1	6.6		82.8	84.7	1.8	238.1	
	COAH213	6.4		80.7	85.0	4.3	224.0	
	COAH215-1	7.4		80.8	83.5	2.7	220.3	
Tuxpeño	COAH269-1	5.4	b	78.3	80.0	1.7	211.6	
Norteño	COAH269-2	7.1		77.5	80.5	3.0	221.0	
	COAH269	6.1		79.7	81.8	2.2	200.5	
	COAH178	5.9		79.8	82.7	2.8	205.5	
	COAH231	5.9		81.3	83.7	2.3	213.1	
Celaya	COAH075-1	6.9		85.3	a 90.3	a 5.0	221.8	
	COAH075-2	6.7		85.0	88.0	3.0	238.1	
	COAH275	7.2		83.3	89.2	5.8	a 233.0	
Pool33	Pool33	6.9		75.8	77.3	1.5	176.8	h
Pool34	Pool34	6.8		83.7	84.7	1.0	208.5	
Var	JAGUAN	6.4		76.2	78.8	2.7	214.0	
Rx715	Rx715	8.2	a	73.3	73.8	0.5	b 186.5	
Pool4	Pool4	9.1	a	71.8	75.0	3.2	195.0	
Pool18	Pool18	6.5		75.0	77.3	2.3	188.8	
<b>DMS</b>		4.42		5.11	4.35	4.99	27.01	

RTO: Rendimiento de grano; DFM: Días a floración masculina; DFF: Días a floración femenina; ASF; Asincronía floral; ALPTA: Altura de planta; DMS = Diferencia Mínima Significativa; <sup>†</sup> = medias con las mismas letras son estadísticamente iguales.

#### 4.4 Análisis de la interacción genotipo por ambiente para rendimiento de grano y días a floración femenina.

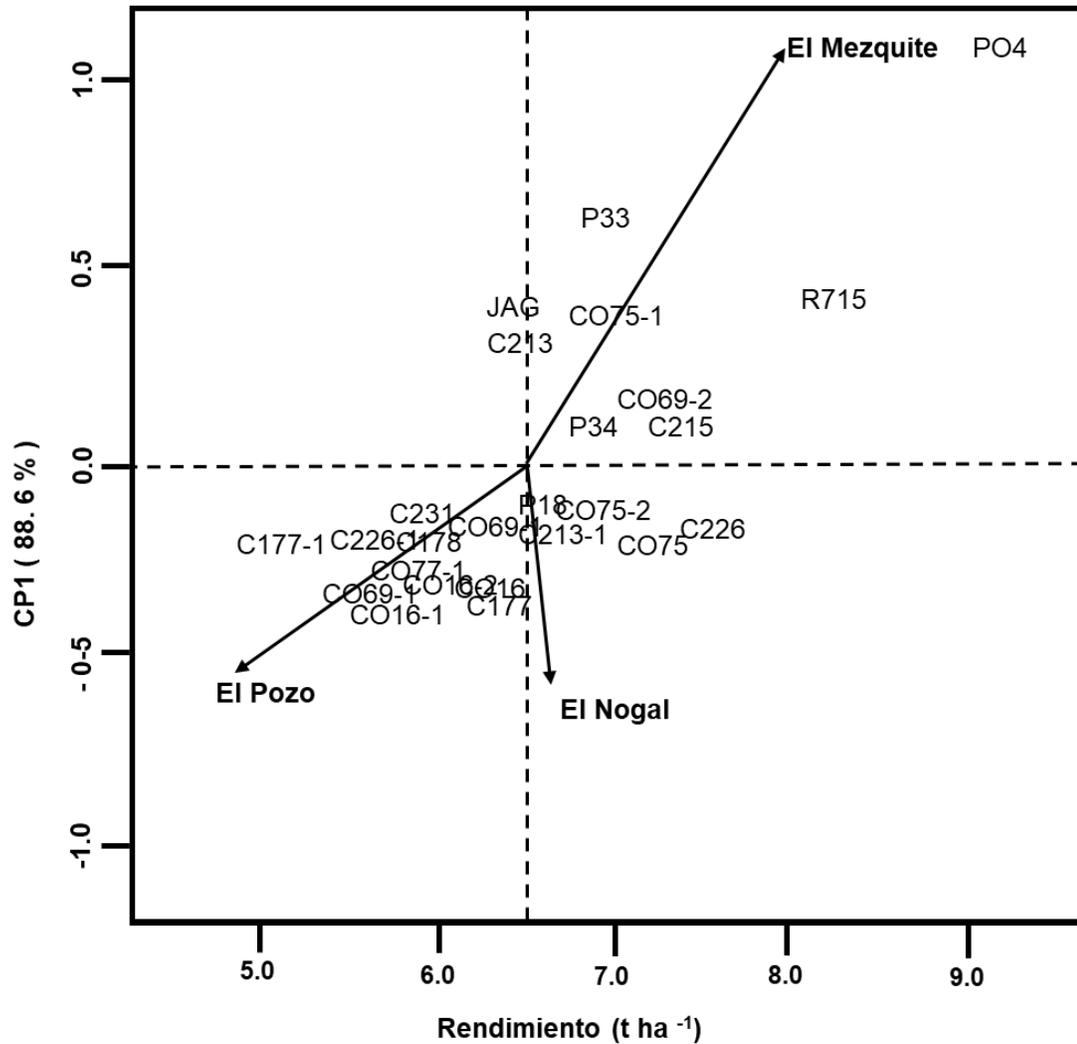
El Cuadro 6 muestra el análisis de varianza donde se aprecia la significancia de la interacción genotipo x ambiente y la significancia del primer componente principal con base en la prueba de Gollob; la interacción ya había sido definida importante, sin embargo, esta prueba determinó que con el primer componente principal es posible explicar la interacción genotipo por ambiente, razón por la cual se empleó el análisis biplot con base en el valor medio del rendimiento de grano y la interacción genotipo por ambiente representada a través del CP1, mismo que representa el 88.66% de la variación en la interacción.

En los DFF, el estudio demostró que el componente principal uno (CP1) fue estadísticamente significativo ( $P \leq 0.05$ ) y determina que el 79.66% fue el porcentaje de la variación en la interacción.

Cuadro 6.- Análisis de varianza y Prueba de Gollob para el rendimiento de grano y días de floración femenina en la evaluación de poblaciones nativas de maíz amarillo en tres sitios de estudio de condiciones ambientales contrastantes.

	FV	GL	%	CM	
RTO	LOCALIDADES	2	36.73	123.71	**
	GENOTIPOS	24	17.93	5.03	*
	LOC*GEN	48	45.32	6.35	**
	CP1	25	88.66	10.93	**
	CP2	23	11.33	1.51	<u>ns</u>
	CP3	21	0	0	<u>ns</u>
	ERROR	75		2.66859	
	DFF	LOCALIDADES	2	80.63	5866.22
GENOTIPOS		24	16.93	102.68	**
LOC*GEN		48	2.42	7.35	*
CP1		25	79.66	10.94	**
CP2		23	20.33	3.03	ns
CP3		21	0	0	ns
ERROR		75	0	4.50667	

\*\* , \* = Significativo a 0.01 y 0.05 de probabilidad, respectivamente; FV: Fuente de variación; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrados medios; CP1: Componente principal 1, CP2: Componente principal 2, CP3: Componente principal 3.



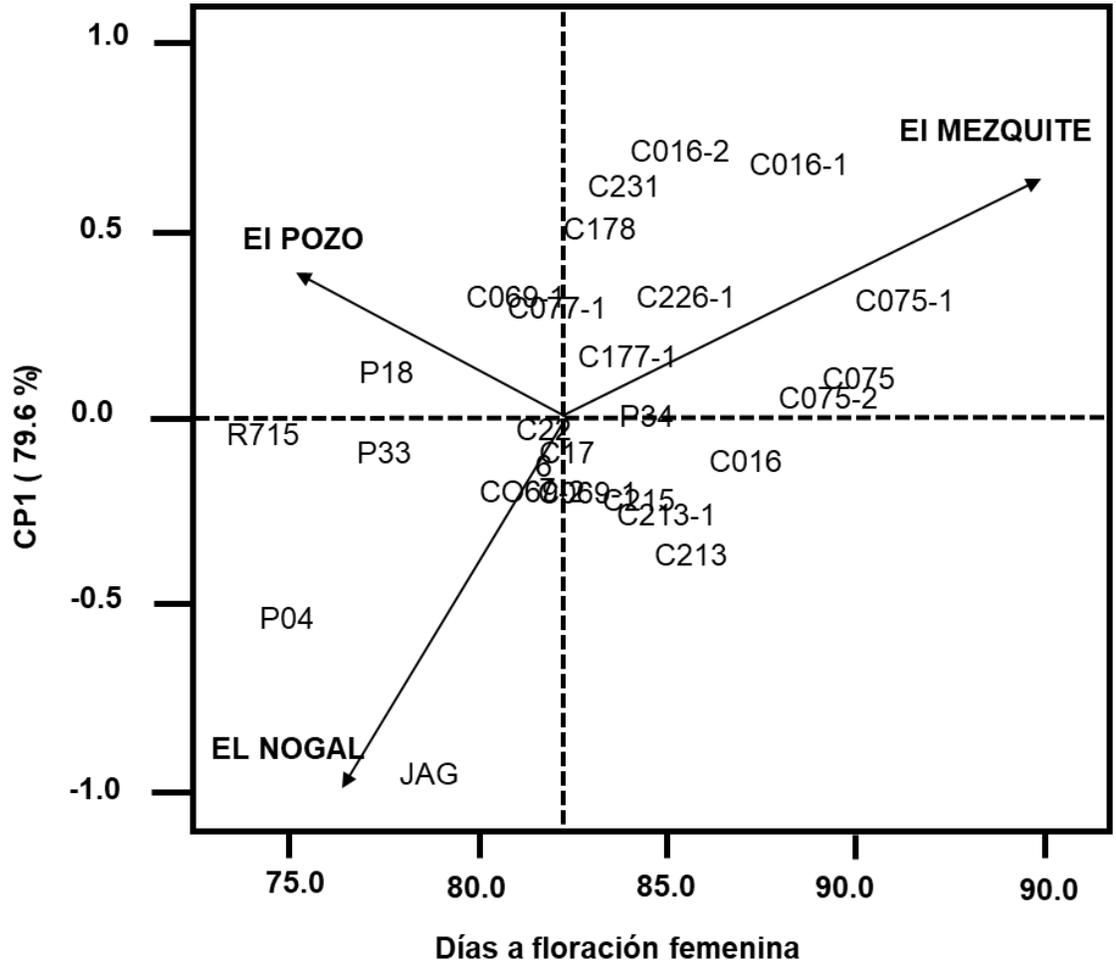
**Figura 1.-** Rendimiento de grano e interacción genotipo por ambiente (CP1) de las poblaciones evaluadas en condiciones ambientales contrastantes. El Pozo y el Nopal en Buenavista, Saltillo, Coahuila y El Mezquite, Galeana, Nuevo León. Ciclo PV 2023.

En la Figura 1 se observa un análisis gráfico, en este se puede observar el valor medio del rendimiento de cada genotipo estudiado asociado al eje de las abscisas, la línea que divide dicho eje es el valor medio del conjunto de datos, por lo tanto, los genotipos ubicados sobre la derecha del eje presentaron rendimiento por encima del valor medio, en el mismo sentido aplicó para los sitios

de evaluación, donde claramente se observó que El Mezquite presentó el mayor rendimiento.

Con base en el análisis gráfico se encontró que el genotipo PO4 (Pool4) obtuvo el mayor rendimiento ( $> 9.0 \text{ t ha}^{-1}$ ); sin embargo, fue el genotipo de menor estabilidad, al mostrar la mayor interacción genotipo por ambiente, al presentar la mayor distancia entre la ubicación del genotipo y el eje de las ordenadas. El genotipo R715 presentó buen rendimiento ( $> 8.0 \text{ t ha}^{-1}$ ), aunque con estabilidad intermedia. Entre los genotipos de mejor estabilidad, y como se esperaba, se encontraron poblaciones de maíz nativo; las poblaciones de mejor rendimiento y estables fueron CO75-2, CO75-1, y CO226. De forma contrastante, la variedad JAGUAN, el POOL33 y el POOL34 mostraron un rendimiento por debajo de la media y una estabilidad intermedia.

En el estudio se puede observar, dado el ángulo de los vectores, que a pesar de que dos sitios de evaluación se encontraron en la misma localidad, estos mostraron un comportamiento diferente y por lo tanto un sitio de evaluación que permitió discriminar a los genotipos.



**Figura 2.-** Días de Floración Femenina e interacción genotipo por ambiente (CP1) de las poblaciones evaluadas en condiciones ambientales contrastantes.

En la Figura 2 se muestra la interacción para la floración, las localidades de evaluación mostraron diferencias en la expresión de su comportamiento. El Mezquite fue el sitio con el ciclo más largo mientras que El Nogal y El Pozo fueron muy similares y precoces.

El valor medio de la floración femenina se encontró en alrededor de 82 días; en este sentido se encontró que R715 (híbrido comercial) fue el genotipo más precoz y estable. En la evaluación no se encontraron poblaciones nativas precoces ya que los genotipos de menor ciclo fueron todos testigos (POOL04, POOL33 y

POOL18. Por el contrario, las poblaciones nativas y en particular CO75 mostró el ciclo más tardío dentro de la evaluación, aunque esta fue la población más estable.

Las poblaciones C177 (Tuxpeño) y CO69 (Tuxpeño Norteño) fueron las poblaciones que se mantuvieron dentro de la media en los días a floración femenina.

## V. CONCLUSIONES

En el estudio de la interacción genotipo por ambiente de poblaciones nativas de grano amarillo se encontró que solo el rendimiento de grano y los días a floración fueron las características afectadas por las condiciones ambientales. Entre los sitios de evaluación, la localidad de mejor aptitud para la producción de grano fue El Mezquite, Galeana, Nuevo León con  $8.05 \text{ t ha}^{-1}$ , seguido por El Nogal con  $6.57 \text{ t ha}^{-1}$  y El Pozo con  $4.91 \text{ t ha}^{-1}$ .

En la interacción genotipo por ambiente para el rendimiento de grano se encontró al menos una población nativa comparable con un híbrido comercial, aunque en general las poblaciones mostraron mayor estabilidad e incluso rendimiento con respecto a los testigos. En la floración, los testigos mostraron ciclos más precoces comparados con las poblaciones nativas, característica a considerar en la mejora genética dada la escasa precipitación y heladas tempranas en la región sureste de Coahuila

Las poblaciones de maíz nativo del estado de Coahuila presentaron una excelente producción de grano en las distintas localidades, lo cual confirman que el rendimiento se encuentra asociado con las condiciones ambientales y que los bajos rendimientos de grano, no se deben directamente al genotipo sino a las condiciones bajo las cuales se cultivan.

Las poblaciones que obtuvieron un comportamiento agronómico estable dentro de las localidades de Buenavista y El mezquite son: COAH226 (Ratón); COAH215-1 (Tuxpeño); COAH269-2 (Tuxpeño Norteño); COAH275 (Celaya); Pool4 (CIMMYT) y Rx715 (Híbrido comercial), estas poblaciones pueden ser una base para realizar un programa de mejoramiento genético en maíz.

## VI. LITERATURA CITADA

- Agrama, H. A. S. (1996). Sequential path analysis of grain yield and its components in maize. *Plant Breed.* 115:343-346 p.
- Arellano, V. J. L., Virgen, V. J., Ávila P. M. A. (2010). H-66 híbrido de maíz para los Valles Altos de los Estados de México y Tlaxcala. *Rev. Mex. Cien. Agríc.* 1:257-262 p.
- Arellano, V. J. L., Virgen, V. J., Rojas, M. I., Ávila, P. M. A. (2011). H-70: Híbrido de maíz de alto rendimiento para temporal y riego del Altiplano Central de México. *Rev. Mex. Cien. Agríc.* 2:619-626 p.
- Barreto, H. J., Edmeades, G. O., Chapman, S. C., and Crossa, J. (1997). The alpha lattice design in plant breeding and agronomy: generation and analysis. In: *Proc. Symp. On Developing Drought- and Low N-Tolerant Maize.* G O Edmeades, M Bänziger, H R Mickelson, C B Peña-Valdivia (eds). El Batan, Mexico, March 25- 29, 1996. CIMMYT. Mexico, D. F. pp:544-551
- Blum, A. (1988). *Plant breeding for stress environments.* 18-28. CRC press.
- Briggs, F. N. y Knowles, P. F. (1967) *Introduction to Plant Breeding.* Reinhold Publishing Corp. 426 p.
- Camargo, B. I., Quirós, M. E. y Gordon, M. R. (2011). Identificación de mega-ambientes para potenciar el uso de genotipos superiores de arroz en Panamá. *Pesquisa Agropecuária Brasileira.* 46(9):1061-1069. Doi.org/10.1590/S0100-204X2011000900013.

- Díaz, G., García, C. L., Nieto., D., y Mendoza, M. C. (2021). Ganancia en ciclos de selección recurrente para rendimiento y resistencia a carbón de la espiga en maíz. Fecha de consulta 16 de abril del 2024. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-33092021000100104](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092021000100104)
- Farias, F. J. C., Carvalho, P. L., Silva, F. J. L. and Teodoro, E. P. (2016). Biplot analysis of phenotypic stability in upland cotton genotypes in Mato Grosso. *Genet. Mol. Res.* 10p.
- Farshadfar, E., Mahmodi, N. and Yaghotipoor, A. (2011). AMMI stability value and simultaneous estimation of yield and yield stability in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Austral. J. Crop Sci.* 5: 1837-1844.
- Guillén, P. L. A., Sánchez, Q. C., Mercado, D. S., Navarro, G. H. (2002) Análisis de atribución causal en el uso de semilla criolla y semilla mejorada de maíz. *Agrociencia* 36:377-387.
- Hallauer, A. R., Miranda, B. (1981). *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Iowa State University Press. Ames, IA. 468 p.
- Hallauer, A. R., Carena, M. J. and Miranda, J. B. (2010). *Quantitative Genetics in Maize Breeding, Handbook of Plant Breeding*. New York: Springer Science and Business Media. 663p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-0766-0>
- Hellin, J., Bellon, M. R. and Hearne, S. J. (2014). Maize Landraces and Adaptation to Climate Change in Mexico. *Journal of Crop Improvement* 28(4): 484-501, doi: 10.1080/15427528.2014.921800.

- Kato, T. A., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A. (2009). Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. Editorial Impresora Apolo, S.A. de C.V. D.F., México. 116 p.
- Laguna Agrícola Mecánica, S.A. de C.V. (LAMSA). (2019). El maíz amarillo en México. Fecha de consulta: 15 de abril del 2024. Disponible en <https://www.lamsa.com.mx/node/1728>
- López, M. F., Chura, C. J., García, P. G. (2019). Interacción genotipo por ambiente del rendimiento de maíz amarillo en híbridos trilineales. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo.
- López, M. F., Vázquez, C. M. G., Molina, G. J. D., García, Z. J. J., Corona, T. T., Cruz, I. S., López, R. G., Reyes, L. D., y Esquivel, E. G. (2017). Programa de Genética, Posgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230.
- Lozano, R. Á., Santacruz, V. A., San Vicente, G. F., Crossa, J., Burgueño, J. y Molina, G. J. D. (2015). Modelación de la interacción genotipo ambiente en rendimiento de híbridos de maíz blanco en ambientes múltiples. Rev. Fitotec. Mex. 38(4):337-347. Doi.org/10.35196/rfm. 2015.4.337.
- Lule, D.D., Fetene, S. M., Tesfaye, K. (2015). Additive main effects and multiplicative interactions (AMMI) and genotype by environment interaction (GGE) biplot analyses aid selection of high yielding and adapted finger millet varieties. J. Appl. Biosci. 76(3):6291-6303.

- María, R. A., I Rojas, M. I., Ávila, P. M. A., Gámez, V. J. A. (2003). Producción de Maíz de Temporal en el Estado de Tlaxcala. Folleto para Productores Número 3. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Tlaxcala. Tlaxcala. México. 16 p.
- Márquez, S. F. (1987). Sistemas, métodos y estrategias en el mejoramiento genético del maíz. (*Zea mays* L.). *Ciencia* 38:205-216.
- Márquez, S. F. (1985). Genotecnia vegetal: Métodos, teoría, resultados. Tomo I. México D.F. AGT Editor, S. A. 357p.
- Molina, G. J. D. (1992), Introducción a la Genética de Poblaciones y Cuantitativa. AGT Editor. 349 p.
- Neisse, A. C., Kirch, L. J. and Hongyu, K. (2018). AMMI and GGE biplot for genotype x environment interaction: a medoid-based hierarchical cluster analysis approach for high-dimensional data. *Biometrical Letters*. 121p.
- Pang Y., Chen, K., Wang, X., J. Xu, J., Ali, J. and Li. Z. (2017) Recurrent selection breeding by dominant male sterility for multiple abiotic stresses tolerant rice cultivars. *Euphytica* 213:268 p.
- Pérez, G. R., Zavala, G. F., Gutiérrez, D. A., Treviño, R J. E., Ojeda Z M. C. y Mendoza E. M. (2016). Estrategias de selección en familias de hermanos completos en dos poblaciones de maíces criollos. Artículo Científico. Disponible en:  
[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-56572016000200004](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572016000200004)

- Reyes, M. C., Cantú, A. M. A., Gill, L. H. R., García, O. J. G. y Mayek, P. N. (2017). Campo Experimental Rio Bravo-INIFAP. Carretera Matamoros-Mazatlán, km 100. Río Bravo, Tamaulipas, México. CP. 88900.
- Ramya, P., Singh, G. P., Jain, N., Singh, P. K., Pandey, M. K., Sharma, K. and Prabhu, K. V. (2016). Effect of recurrent selection on drought tolerance and related morpho-physiological traits in bread wheat. *PLoS ONE*.
- 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. Fecha de consulta: 2 de marzo del 2024. Disponible en <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/especial-201509.asp>
- Rincón, S. F., Castillo, G. F. y Ruiz T., N. A. (2010). Diversidad y Distribución de los Maíces Nativos en Coahuila, México. SOMEFI. 116 p.
- Samano, G. D., De León, C. H., Burciaga, V. G. A., González, G. M. E. y De la Rosa, L. A. (2006). Interacción Genotipo-Ambiente de Cruzas Simples entre Dos Grupos Germoplasmicos de maíz Contrastantes. Artículo Científico. Dpto. de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Colonia Buenavista, C. P. 25315, Saltillo, Coahuila, México. 1 -38 p.
- Sanchez, J. J., Goodman, M. M., Stuber, C. W. (2000). Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ.c Bot*-54:43-59.

- Sánchez, D. M., Borrego, F., Zamora, V. M., Sánchez, J. D. y Castillo, F. (2015). Estimación de la interacción genotipo-ambiente en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con el modelo AMMI. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6: 763-778.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2021). Avances de siembras y Cosechas. Fecha de consulta: 3 de marzo del 2024 Disponible en [https://nube.siap.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/).
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). Avances de siembras y Cosechas. Fecha de consulta: 15 de abril del 2024 Disponible en [https://nube.siap.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/)
- Sprague, G. F. (1966). Quantitative genetics in plant improvement. Iowa State University. 354p.
- Turiján, A. T., Damián, H. M. A., Ramírez, V. B, Juárez, S. J. P., Estrella, C N. (2012). Manejo tradicional e innovación tecnológica en cultivo de maíz en San José Chiapa, Puebla. *Rev. Mex. Cien. Agríc.* 3:1085-1110.
- Turrent, F. A., Wise, T. A., Garvey, E. (2012). Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. *Mex. Rural Develop. Res. Rep.* 24:1-36.
- Vargas, E. E. A., Vargas, S. J. E., Baena, G. D. (2016). Análisis de estabilidad y adaptabilidad de híbridos de maíz de alta calidad proteica en diferentes zonas agroecológicas de Colombia. *Acta Agronómica.* 79p.

- Vázquez, C. M. G., Pérez, C. J. P., Hernández, C J. P., Marrufo, D. M. L., Martínez, R. E. (2010). Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del altiplano y valle del mezquital, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 33:49-56.
- Yan, W., L.A. Hunt, Q. Sheng, and Z. Szlavnic. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40:597-605.