

**POTENCIAL GENÉTICO Y ADAPTACIÓN DE POBLACIONES  
NATIVAS DE MAÍZ DEL SURESTE DE COAHUILA**

**LINO CÉSAR ESPINOSA TAMAYO**

**TESIS**

Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN  
FITOMEJORAMIENTO**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

Saltillo, Coahuila, México

**Febrero de 2015**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO**

POTENCIAL GENÉTICO Y ADAPTACIÓN DE POBLACIONES NATIVAS DE  
MAÍZ DEL SURESTE DE COAHUILA

**TESIS**

**LINO CÉSAR ESPINOSA TAMAYO**

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y Aprobada  
como requisito parcial para obtener el grado de:

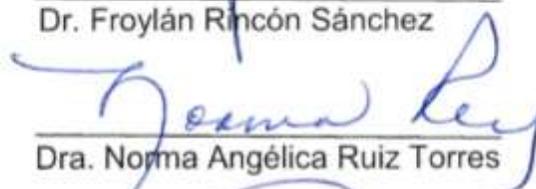
**MAESTRO EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO**

**COMITÉ PARTICULAR**

Asesor principal:

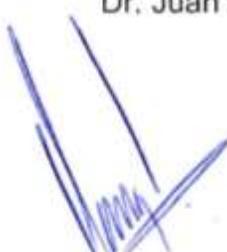
  
\_\_\_\_\_  
Dr. Froylán Rincón Sánchez

Asesor:

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Norma Angélica Ruiz Torres

Asesor:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Juan Manuel Martínez Reyna

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Alberto Sandoval Rangel

Subdirector de Postgrado

Saltillo, Coahuila, México. Febrero de 2015.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por prestarme la vida y permitirme tener la oportunidad de lograr terminar una de mis metas en la vida.

A mi familia por el gran apoyo que siempre me han brindado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para la realización de la maestría.

A mi Comité Particular de Asesoría, integrado por el Dr. Froylán Rincón Sánchez, Dra. Norma A. Ruiz Torres y el Dr. Juan Manuel Martínez Reyna, por el apoyo en la realización del presente trabajo.

A la UAAAN por haberme permitido realizar mis estudios de postgrado, así como al Departamento de Fitomejoramiento y a todos los maestros que fueron partícipes durante esta etapa.

A todas las personas que de una u otra manera me brindaron su apoyo para la realización de este trabajo.

## **DEDICATORIA**

A mi familia, con amor y respeto, este es un logro más que comparto con ustedes.

A todos los que me brindaron su apoyo en la realización de este trabajo.

## **COMPENDIO**

### **POTENCIAL GENÉTICO Y ADAPTACIÓN DE POBLACIONES NATIVAS DE MAÍZ DEL SURESTE DE COAHUILA**

POR

**LINO CÉSAR ESPINOSA TAMAYO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO, FEBRERO DE 2015.

DR. FROYLÁN RINCÓN SÁNCHEZ ---ASESOR---

**Palabras clave:** *Zea mays* L., poblaciones nativas de maíz, interacción genotipo x ambiente.

El maíz es el cultivo más importante de México, se siembra en la mayoría de los estados en una amplia gama de condiciones climáticas. La diversidad del maíz en el estado de Coahuila está conformada por siete grupos raciales: Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Elotes Cónicos, Ratón, Tuxpeño y Tuxpeño

Norteño, y en el sureste del estado se siembra el 81.2 % del total, principalmente bajo condiciones de temporal o seco. El conocimiento de esta variación genética y su potencial productivo pueden apoyar estrategias para su conservación y definir estrategias de mejoramiento genético. Los objetivos del presente trabajo fueron determinar el comportamiento agronómico y potencial de rendimiento de 63 poblaciones de maíz del sureste de Coahuila y establecer el área de adaptación y potencial de selección para las condiciones del sureste de Coahuila. La evaluación agronómica de las 63 poblaciones y siete variedades usadas como testigo, se llevó a cabo en el ciclo Primavera-Verano de 2013 en tres localidades: El Mezquite, Galeana, N. L. (1910 m) y General Cepeda, Coah. (1457 m), bajo condiciones de riego, y en Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coah. (2100 m), bajo condiciones de temporal. Se obtuvo información de la altura de planta y mazorca (cm), días a floración masculina y femenina, el porcentaje de mazorcas podridas, el número de mazorcas por planta y el rendimiento de grano ( $t\ ha^{-1}$ ). Se analizó el potencial de rendimiento a través de ambientes y la interacción genotipos  $\times$  ambiente con base en dos modelos de efectos principales aditivos y la interacción multiplicativa: efectos principales vs primer componente de la interacción (AMMI 1); los dos componentes principales de la interacción genotipo  $\times$  ambiente (AMMI 2) y el modelo de efectos genéticos y de interacción genotipos  $\times$  ambiente (GGE Biplot). Los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias ( $P \leq 0.01$ ) entre localidades y genotipos (poblaciones y testigos) en la mayoría de los caracteres evaluados. En la interacción genotipos  $\times$  localidad se detectaron diferencias ( $P \leq 0.01$ ) en floración masculina, floración femenina, mazorcas podridas y rendimiento de

grano. Dentro de las 25 poblaciones con mayor rendimiento de grano, las razas de mayor potencial de rendimiento corresponden principalmente a las razas Ratón (nueve poblaciones), Tuxpeño (seis poblaciones) y Tuxpeño Norteño (cuatro poblaciones). También se encontraron cinco poblaciones nativas de maíz, tres de la raza Tuxpeño (38\_T, 52\_T y 54\_T) y dos de la raza Ratón (13\_R y 40\_R), con rendimientos similares a los mejores testigos mejorados. En el análisis de la respuesta ambiental, los tres modelos usados para la interacción genotipo  $\times$  ambiente agrupan a los genotipos de manera similar, pero con diferencias en la interpretación de los genotipos y ambientes. Los modelos AMMI 1 y GGE Biplot ayudan a identificar los genotipos con base en el rendimiento de grano, así como su área de adaptación específica. Además de la adaptación específica de las poblaciones a las localidades contrastantes del sureste de Coahuila, se identificaron cuatro poblaciones con buen potencial de rendimiento y estables a través de ambientes: dos Cónico Norteño (28\_CN y 27\_CN), una de Tuxpeño Norteño (59\_TN) y otra de Ratón (56\_R). También, se identificaron tres poblaciones de la raza Tuxpeño (52\_T, 54\_T y 55\_T), una de Elotes Occidentales (33\_EO) y otra de Ratón (35\_R) procedentes de áreas intermedias, con buen potencial en valles altos. Asimismo, dos poblaciones de la raza Elotes Cónicos (4\_EC y 17\_EC) y dos de la raza Cónico Norteño (48\_CN y 7\_CN) de valles altos, prosperan satisfactoriamente en la localidad intermedia. El modelo GGE Biplot resultó ser el más apropiado para el estudio de la interacción genotipo  $\times$  ambiente de la variación del rendimiento de grano.

## **ABSTRACT**

# **GENETIC POTENTIAL AND ADAPTATION OF NATIVE MAIZE POPULATIONS OF THE SOUTHEAST OF COAHUILA**

By

**LINO CÉSAR ESPINOSA TAMAYO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

SALTILLO, COAHUILA, MEXICO, FEBRUARY 2015.

DR. FROYLÁN RINCÓN SÁNCHEZ ---ADVISOR---

**Keys Words:** *Zea mays* L., native maize populations, genotype by environment interaction.

Maize is the most important crop in Mexico, is grown in most of the states in a wide range of climatic conditions. Maize diversity in the state of Coahuila consists of seven racial groups: Celaya, Conico, Conico Norteño, Elotes Conicos, Raton, Tuxpeño and Tuxpeño Norteño; in the southeast, it is cultivated 81.2 % of total, mainly under rainfed conditions. Knowledge of this genetic

variation and its productive potential can support strategies for conservation and plant breeding. The objectives of this research work were to determine the agronomic performance and yield potential of 63 maize populations of the southeast of Coahuila and to determine the area of adaptation and potential selection for the conditions of the southeast of Coahuila, Mexico. The agronomic evaluation of the 63 populations and seven checks included in the study was carried out in the Spring-Summer 2013), in three environments: two irrigated conditions in El Mezquite, Galeana, N. L. (1910 m) and General Cepeda, Coah. (1457 m), and under rainfed environment in Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coah. (2100 m). Information was documented on plant and ear height (cm), days to male and female flowering, ear rot percentage, number of ears per plant, and grain yield ( $t\ ha^{-1}$ ). The yield potential was analyzed across environments and the genotype  $\times$  environment interaction based in two models of additive main effects and multiplicative interaction: main effects vs first component of the interaction (AMMI 1); the two principal components of the genotypes  $\times$  environments interaction (AMMI 2), and the genetic effects and the genotype  $\times$  environment interaction model (GGE Biplot). The analysis of variance results showed differences ( $P \leq 0.01$ ) among environments and genotypes (populations and checks) for most of the evaluated traits. In the genotype  $\times$  location interaction, differences were detected for male and female flowering, ear rot and grain yield ( $P \leq 0.01$ ). Among the 25 populations with the highest grain yield, the racial groups with higher yield grain potential correspond mainly to the Raton races (nine populations), Tuxpeño (six populations) and Tuxpeño Norteño (four populations). Also, there were five native maize populations, three of the

Tuxpeño race (38\_T, 52\_T and 54\_T) and two of the Raton race (13\_R and 40\_R) with similar yields to the best improved checks. In the environmental response analysis, the three used models for the genotype  $\times$  environment interaction group the genotypes in a similar form, but with differences in the genotypes and environments interpretation. The AMMI 1 and the GGE Biplot help to identify genotypes based on the grain yield, as well as, specific adaptation area. Besides the specific populations adaptation to the contrasting locations in southeast Coahuila, there were identified four populations with good yield potential and stable across environments: two Conico Norteño (28\_CN and 27\_CN), one of Tuxpeño Norteño (59\_TN) and another of Raton (56\_R). Likewise, there were found three populations of Tuxpeño race (52\_T, 54\_T and 55\_T), a population of Elotes Occidentales (33\_EO) and another Raton (35\_R) with adaptation to intermediate areas, with good potential in high valleys. As well, two populations of Elotes Conicos race (4\_EC and 17\_EC) and two from the Conico Norteño race (48\_CN and 7\_CN) of high valleys, thrive well in the intermediate location. The GGE Biplot was the most appropriate model for the study of genotype  $\times$  environment interaction variance of grain yield.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	xii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xiii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
Objetivos .....	3
Hipótesis.....	4
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	5
Importancia del maíz en México .....	5
Importancia del maíz en el sureste de Coahuila.....	5
Diversidad genética del maíz en México .....	6
Potencial genético de poblaciones de maíz .....	7
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	10
Material genético .....	10
Ubicación del sitio experimental .....	11
Diseño experimental.....	12
Labores culturales .....	12
Caracteres evaluados.....	14
Análisis de la información agronómica .....	17
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	19
Evaluación agronómica .....	19
Potencial de rendimiento de las poblaciones nativas .....	28
Interacción genotipo x ambiente .....	31
Modelo AMMI 1 .....	32
Modelo AMMI 2 .....	37
Modelo GGE Biplot.....	39
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	48
<b>VI. LITERATURA CITADA</b> .....	50

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
<b>Cuadro 3.1</b> Grupos raciales identificados en las 63 poblaciones representativas de los maíces del Sureste de Coahuila.....	10
<b>Cuadro 3.2</b> Coordenadas geográficas y datos climáticos de las localidades de evaluación, 2013.....	11
<b>Cuadro 4.1</b> Cuadrados medios del análisis de varianza para variables agronómicas en El Mezquite, Galeana, N. L., General Cepeda y Jagüey de Ferniza, Coah., 2013.....	20
<b>Cuadro 4.2</b> Cuadrados medios del análisis de varianza para variables agronómicas en El Mezquite, Galeana, N. L. y General Cepeda, Coah., 2013.....	23
<b>Cuadro 4.3</b> Comparación de medias de variables agronómicas en El Mezquite, Galeana, N. L., General Cepeda y Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coah.....	26
<b>Cuadro 4.4</b> Comparación de medias de variables agronómicas en El Mezquite, Galeana, N. L. y General Cepeda, Coah.....	27
<b>Cuadro 4.5</b> Medias de rendimiento de grano y floración masculina de las 25 poblaciones superiores y los testigos en la evaluación agronómica, en 2013.....	29
<b>Cuadro 4.6</b> Análisis de varianza AMMI para rendimiento de grano de los 70 genotipos de maíz evaluados en El Mezquite, Galeana, N. L. y General Cepeda, Coah., 2013.....	32
<b>Cuadro 4.7</b> Clasificación de los 70 genotipos de maíz evaluados en 2013, de acuerdo a los modelos de interacción genotipo ambiente.....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 4.1</b> Dispersión gráfica del modelo AMMI 1 para la interacción genotipo ambiente para rendimiento de grano de los 70 genotipos evaluados en dos localidades. Las letras en los puntos correspondientes a las poblaciones indican el grupo racial y el número de población. T= Tuxpeño; TN= Tuxpeño Norteño; C= Celaya; EO= Elotes Occidentales; EC= Elotes Cónicos; R= Ratón; CN= Cónico Norteño; O= Olotillo.....	33
<b>Figura 4.2</b> Dispersión gráfica del modelo AMMI 2 para la interacción genotipo ambiente para rendimiento de grano de los 70 genotipos evaluados en dos localidades. Las letras en los puntos correspondientes a las poblaciones indican el grupo racial y el número de población. T= Tuxpeño; TN= Tuxpeño Norteño; C= Celaya; EO= Elotes Occidentales; EC= Elotes Cónicos; R= Ratón; CN= Cónico Norteño; O= Olotillo.....	38
<b>Figura 4.3</b> Dispersión gráfica del modelo GGE Biplot para la interacción genotipo x ambiente para rendimiento de grano de los 70 genotipos evaluados en dos localidades. Las letras en los puntos correspondientes a las poblaciones indican el grupo racial y el número de población. T= Tuxpeño; TN= Tuxpeño Norteño; C= Celaya; EO= Elotes Occidentales; EC= Elotes Cónicos; R= Ratón; CN= Cónico Norteño; O= Olotillo.....	40

## I. INTRODUCCIÓN

México es considerado centro de origen y uno de los principales centros de diversificación del maíz (Kato *et al.*, 2009), así como uno de los últimos reservorios genéticos del maíz para la humanidad (Bellon y Berthaud, 2004). El maíz tiene un papel central en la agricultura de todas las culturas indígenas mexicanas, debido a su amplia adaptación a distintos ambientes, su tolerancia a plagas y enfermedades, y sus distintos usos, ya sea como alimento o forraje (Paliwal, 2001; Kato *et al.*, 2009).

La presencia de la variación genética en los centros de diversidad, ha sido de fundamental importancia para conservar y mejorar la productividad de los cultivos agrícolas en los países en desarrollo, caracterizados por agroclimas variados y ambientes heterogéneos (Clawson, 1985).

Gran parte de la diversidad genética del maíz nativo de México se encuentra en los campos agrícolas en forma de variedades criollas (Herrera *et al.*, 2000). En México, el maíz se siembra de 0 a 2900 msnm, en regiones con una temperatura media anual de 11.3 a 26.6 °C y una precipitación media anual de 426 a 4245 mm (Ruiz *et al.*, 2008). Los mismos autores, mencionan que la mayor diversidad de razas se localiza a menos de 2000 msnm, en regiones con temperaturas de subtropicales a templadas (18 a 26 °C) y con régimen de precipitación anual de subhúmedo a semiárido (menos de 580 mm).

La colecta y estudio de los maíces criollos mexicanos han sido motivados por diversas causas, entre las principales están: contar con fuentes de germoplasma para mejoramiento genético, entender la agricultura mexicana de autoconsumo y a sus cultivares en diferentes regiones del país (Hernández y Esquivel, 2004). La evaluación de la diversidad en maíces nativos es importante para el planteamiento de estrategias de conservación, caracterización, y uso de germoplasma en el mejoramiento genético (González *et al.*, 2013).

De la diversidad genética del maíz en México, solo una pequeña fracción se ha utilizado en programas de mejoramiento y solo corresponden a cuatro razas: Cónico, Chalqueño, Tuxpeño y Celaya; otras razas como Bolita y Cónico Norteño han tenido un uso limitado (Márquez, 2005).

La diversidad del maíz en el estado de Coahuila, como en gran parte de México está constituida por tipos raciales, variantes dentro de razas y variantes intermedias entre razas desarrolladas por los agricultores (Rincón *et al.*, 2010). Los mismos autores reportaron que la diversidad del maíz en el estado de Coahuila, está conformada por siete grupos raciales: Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Elotes Cónicos, Ratón, Tuxpeño y Tuxpeño Norteño, siendo Cónico Norteño (21.1 %), Ratón (26.7 %) y Tuxpeño Norteño (20 %) los grupos raciales de mayor importancia en términos de la distribución y siembras.

En el Sureste del Estado de Coahuila (Arteaga, General Cepeda, Parras, Ramos Arizpe y Saltillo) en 2013, la superficie sembrada de maíz para grano fue de 25.98 mil ha (81.23 % del total de superficie sembrada de Coahuila), de las cuales 94.84 % se sembraron bajo condiciones de temporal o seco con un rendimiento promedio de 0.69 t ha<sup>-1</sup> (SAGARPA-SIAP, 2013).

Debido a la importancia de las siembras de temporal o seco y la diversidad genética de maíces existentes en el sureste de Coahuila, se realizó el presente estudio con la finalidad de conocer el comportamiento agronómico y potencial genético de poblaciones de maíces representativos de la variación en el sureste de Coahuila, para lo cual se establecieron los siguientes objetivos e hipótesis:

### **Objetivos**

- Determinar el comportamiento agronómico y potencial de rendimiento de 63 poblaciones de maíz del sureste de Coahuila.
- Determinar el área de adaptación y potencial de selección para las condiciones del sureste de Coahuila.

## **Hipótesis**

- Las características agronómicas permitirán identificar el potencial genético de poblaciones dentro de grupos raciales, que de acuerdo a su área de adaptación, puedan ser incluidas como material de base para el desarrollo de germoplasma para el sureste de Coahuila.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### **Importancia del maíz en México**

El maíz es el cultivo agrícola más importante de México, desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social. El maíz para grano, en México, se siembra en dos ciclos y bajo dos modalidades: Primavera-Verano y Otoño-Invierno, y bajo la modalidad de temporal y riego, respectivamente. La superficie sembrada en México en 2013 fue de 7.49 millones de ha, de las cuales el 81.9 % fueron sembradas bajo condiciones de temporal o seco con un rendimiento promedio nacional de  $1.81 \text{ t ha}^{-1}$  (SAGARPA-SIAP, 2013).

### **Importancia del maíz en el sureste de Coahuila**

En el estado de Coahuila, en 2013 se sembraron 31.98 mil ha de maíz para grano (80.54 % de temporal), con rendimiento promedio de grano de  $1.20 \text{ t ha}^{-1}$ . En el Sureste del Estado de Coahuila (Arteaga, General Cepeda, Parras, Ramos Arizpe y Saltillo), la superficie sembrada es de alrededor de 25.98 mil ha (81.23 % del total de superficie sembrada de Coahuila), de las cuales 94.84 % se sembraron bajo condiciones de temporal o seco con un rendimiento promedio de  $0.69 \text{ t ha}^{-1}$  (SAGARPA-SIAP, 2013).

## **Diversidad genética del maíz en México**

México es considerado como uno de los centros más importantes de diversidad del maíz (Matsuoka *et al.*, 2002). Esta diversidad es producto de milenarias prácticas agrícolas vinculadas al conocimiento tradicional de los pueblos indígenas de México, principales herederos, custodios y mejoradores del germoplasma (Turrent *et al.*, 2010).

Según Caraballoso *et al.* (2000) la variabilidad genética del maíz se debe a los mecanismos que operan en las poblaciones de los organismos en proceso de evolución, tanto de manera espontánea como bajo domesticación; y puede atribuirse a la selección practicada por el hombre desde su domesticación, así como a los numerosos nichos ecológicos y los efectos ambientales que cada condición climática ejerce sobre las poblaciones para determinar la adaptación de estas.

Wellhausen *et al.* (1951) identificaron 25 razas, tres subrazas y siete grupos no bien definidos racialmente de maíz, con base en caracteres vegetativos de la planta, la espiga y la mazorca, así como características fisiológicas, genéticas y citológicas. Posteriormente, se realizaron diversos estudios (Hernández y Alanís, 1970; Cervantes *et al.*, 1978; Ortega, 1985; Sánchez *et al.*, 1993) con los cuales se lograron identificar las 59 razas de maíz descritas en la actualidad (Sánchez *et al.*, 2000). Sin embargo, Ortega (2003) indica que en la actualidad no se puede estar muy seguro de que sólo sean 59 las razas de maíz presentes en México, debido a que conforme se vayan

haciendo nuevas recolecciones de muestras principalmente en regiones mal comunicadas del país, el número de razas se podría incrementar.

Rincón *et al.* (2010) reportaron que la diversidad del maíz en el estado de Coahuila, está conformada por siete grupos raciales: Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Elotes Cónicos, Ratón, Tuxpeño y Tuxpeño Norteño; siendo Cónico Norteño (21.1 %), Ratón (26.7 %) y Tuxpeño Norteño (20 %) los grupos raciales de mayor importancia en términos de la distribución y siembras.

### **Potencial genético de poblaciones de maíz**

El potencial máximo de producción de un cultivo en particular se llama potencial genético, y establece la composición genética (estructura interna del ADN) de la planta que puede ser expresada. Un punto de referencia útil para estimar el potencial genético de un cultivo, es el rendimiento más alto que puede alcanzar en condiciones ambientales desfavorables (Chrispeels y Sadava, 2003). El conocimiento del potencial genético del maíz, puede apoyar estrategias de conservación participativa y mejoramiento genético (explotación de heterosis, habilidad combinatoria general y específica, hibridación, selección masal, etc.), para incrementar el rendimiento y los caracteres agronómicos de interés, al generar nuevas variedades mejoradas, sintéticas o híbridos (García *et al.*, 2002).

Hernández y Esquivel (2004) realizaron un estudio sobre rendimiento de grano y características agronómicas de 18 cruzas entre líneas de maíz

proporcionadas por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y 38 cruzas formadas entre materiales criollos y dos probadores, más tres híbridos comerciales como testigos, de los valles altos de la Mesa Central de México. Concluyeron que entre el germoplasma sobresaliente existen líneas autofecundadas que pueden ser importantes en la generación de nuevos híbridos para los valles altos de la Mesa Central de México; y encontraron cruzas de criollos con un probador, cuyos rendimientos de grano y otros atributos de importancia fueron similares a los de los testigos comerciales.

Martin *et al.* (2008) llevaron a cabo una caracterización agronómica y morfológica de 127 accesiones de maíces nativos del noroccidente de México, donde identificaron maíces criollos, como M05100 (Tabloncillo Perla) y M05021 (Tabloncillo), que presentaron rendimientos comparables al testigo mejorado (LUG03 x LUG14); también, lograron identificar los maíces utilizados para elotes o pozole que tuvieron los mayores rendimientos, los cuales fueron: M05002 (Ancho), M05089 (Elotes Occidentales), INIFAP41 (Elotero de Sinaloa) e INIFAP56 (Bofo).

Nájera *et al.* (2010) en un estudio de 90 poblaciones de maíces criollos de Coahuila, mencionan que los grupos raciales con mayor potencial de rendimiento de grano fueron Tuxpeño, Tuxpeño Norteño y Ratón. A través del análisis de la interacción poblaciones x ambientes identificaron que las poblaciones 19, 22, 34 y 61 tuvieron adaptación a El Mezquite, Galeana, N. L.; las poblaciones 74, 76 y 88 a General Cepeda, Coah.; y las poblaciones 35, 37, 38, 64, 66 y 81 mostraron estabilidad a través de los ambientes.

Pecina *et al.* (2011) en una evaluación de 29 poblaciones nativas de maíz de Tamaulipas, encontraron que la mejor expresión del rendimiento de grano de todas las poblaciones fue en el ambiente de Valles Altos, mientras que la expresión más pobre fue en el Trópico Seco. Además, indican la existencia de poblaciones nativas con alto potencial agronómico en el estado de Tamaulipas, que pueden ser aprovechadas tanto localmente como en otros ambientes, en la mejora de la producción de este grano.

Herrera *et al.* (2013) evaluaron 130 colectas de poblaciones nativas de maíz del oriente del Estado de México, en función de su morfología y rendimiento de grano; donde las colectas más sobresalientes por rendimiento de grano para el tipo Chalqueño Cremoso fueron COL-6712, COL-6758, COL-6715 y COL-260v, con comportamiento semejante al de los mejores híbridos; para Elotes Chalqueños la mejor colecta fue COL-6719, y para los tipos Cacahuacintle y Ancho fueron COL-6718 y COL 6739.

Castro *et al.* (2014) realizaron un estudio sobre variabilidad genética de características relacionadas con el área foliar y su eficiencia en la producción de grano de 24 maíces nativos del estado de Tamaulipas, crecidos en condiciones de alta temperatura; concluyeron que de los 24 maíces nativos, 79 % fueron superiores a los genotipos mejorados comerciales en rendimiento de grano, área de la hoja de la mazorca, área foliar y eficiencia total para la producción de grano.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### Material genético

El estudio se realizó en el ciclo de Primavera-Verano 2013, y se utilizó material genético de 63 poblaciones nativas de maíz adaptadas al sureste de Coahuila (Ramos Arizpe, Arteaga, Saltillo, General Cepeda y Parras), representativas de ocho grupos raciales (Cuadro 3.1).

**Cuadro 3.1.** Grupos raciales identificados en las 63 poblaciones representativas de los maíces del Sureste de Coahuila.

Grupo racial	Frecuencia
Celaya	3
Cónico Norteño	22
Cónico Norteño x Charqueño	1
Cónico Norteño x Elotes Cónicos	2
Cónico Norteño x Ratón	1
Elotes Cónicos	3
Elotes Cónicos x Ratón	1
Elotes Occidentales	1
Olotillo	1
Olotillo x Ratón	2
Ratón	13
Ratón x Elotes Cónicos	1
Ratón x Tuxpeño	2
Tuxpeño	3
Tuxpeño Norteño	4
Tuxpeño x Celaya	2
Tuxpeño x Ratón	1
Total	63

En el estudio se incluyeron siete materiales genéticos como testigos, los cuales cuentan con variación en madurez y tipo de grano: una variedad experimental (POBAM), dos variedades mejoradas (VAN210 y JAGUAN) y cuatro variedades sintéticas desarrolladas por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (6221, 6222, POOL31 y POOL32).

### Ubicación del sitio experimental

La evaluación agronómica de las 63 poblaciones y los siete testigos se llevó a cabo en tres localidades: El Mezquite, Galeana, N. L. y General Cepeda, Coah., bajo condiciones de riego, y en Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coah., bajo condiciones de temporal. La localización geográfica y las condiciones ambientales de cada localidad se muestran en el Cuadro 3.2.

**Cuadro 3.2.** Coordenadas geográficas y datos climáticos de las localidades de evaluación, 2013.

	<b>General Cepeda, Coah.</b>	<b>El Mezquite, Galeana, N. L.</b>	<b>Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coah.</b>
<b>Coordenadas geográficas:</b>			
Latitud norte	25° 23' 00.91"	25° 05' 22"	25° 14' 03.5"
Longitud oeste	101° 27' 15.3"	100° 42' 31"	100° 59' 47.0"
Altitud (msnm)	1457	1910	2100
<b>Descripción climática:</b>			
Referencias <sup>†</sup>	Rancho la Gloria, Gral. Cepeda, Coah.	Agrodelta el Cuije, Galeana, N. L.	Rancho el Padrino, Saltillo, Coah.
Temperatura media anual (° C)	18.4	16.3	16.3
Precipitación anual (mm)	414.6	372.8	402.8

<sup>†</sup> Fuente: COFUPRO (2014).

## **Diseño experimental**

Las poblaciones se establecieron en un diseño de bloques incompletos  $10 \times 7$  con arreglo  $\alpha$ -látice (0,1) (Barreto *et al.*, 1997), con dos repeticiones por localidad. La unidad experimental constó de dos surcos de cuatro m de largo, con una distancia entre plantas de 0.2 m y distancia entre surcos de 0.85 m en General Cepeda, Coah. y Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coah. y 0.92 m en El Mezquite, Galeana, N. L. La densidad de siembra en General Cepeda, Coah. y Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coah. fue de 58,823 plantas  $\text{ha}^{-1}$  y en El Mezquite, Galeana, N. L. de 54,347 plantas  $\text{ha}^{-1}$ .

Se sembraron 30 semillas por surco, para posteriormente dejar 42 plantas por unidad experimental (21 plantas por surco). El diseño experimental fue generado a través del programa de cómputo CropStat (IRRI, 2007).

## **Labores culturales**

### **Siembra**

Las fechas de siembra para El Mezquite, Galeana, N. L., y Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coah., fueron el 11 y 18 de mayo de 2013, respectivamente. En General Cepeda, Coah., hubo dos fechas de siembra, la primera fue el 25 de mayo de 2013 y la segunda, el 15 de junio de 2013.

## **Fertilización**

La dosis de fertilización usada para El Mezquite, Galeana, N. L. y General Cepeda, Coah., fue de 120-60-60. Se aplicó la mitad del nitrógeno junto a todo el fósforo y potasio a la siembra con fertilizante fórmula 17-17-17, lo restante de nitrógeno se aplicó al primer cultivo con Urea (46-00-00). En Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coah., se usó la dosis de fertilización de 60-60-60 a la siembra con fertilizante fórmula 17-17-17.

## **Riego**

En las dos localidades bajo condiciones de riego, el número de riegos se definió de acuerdo a las condiciones meteorológicas de cada localidad y de acuerdo a las necesidades del cultivo.

Las labores culturales como aplicación de pesticidas y herbicidas, raleo y aporque para el cultivo, fueron realizadas de acuerdo a las necesidades del cultivo en cada localidad.

## **Caracteres evaluados**

En la localidad Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coah., únicamente fueron tomados los siguientes caracteres: altura de planta, altura de mazorca, floración masculina, floración femenina y asincronía de floración; debido a la pérdida del experimento a causa de una tormenta que siniestró el ensayo. Los caracteres estudiados para la evaluación agronómica se mencionan a continuación:

**Altura de planta (APTA) (cm).** Se midió desde el ras del suelo hasta el punto de inicio donde la panícula empieza ramificarse.

**Altura de mazorca (AMAZ) (cm).** Longitud desde la base de la planta hasta el nudo de inserción de la mazorca principal.

**Floración masculina (FM).** Se consideraron los días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas de la unidad experimental han liberado polen.

**Floración Femenina (FF).** Número de días desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas de la unidad experimental han emergido los estigmas.

**Asíncronia de floración (ASI).** Se estimó como la diferencia entre días a floración masculina y días a floración femenina.

**Número de plantas.** Número total de plantas por unidad experimental previo a la cosecha.

**Número de mazorcas.** Número total de mazorcas cosechadas por unidad experimental.

**Mazorcas podridas (MPOD) (%).** Se estimó dividiendo el número de mazorcas podridas entre el número de mazorcas totales por unidad experimental multiplicado por 100.

**Humedad del grano (HUM).** Es el contenido de humedad del grano al momento de la cosecha. Esta medida expresada en porcentaje se determinó a través de un aparato Dickey John, a partir de una muestra aleatoria de granos de varias mazorcas de cada unidad experimental.

**Peso de campo (PC).** Peso de las mazorcas de cada unidad experimental en kilogramos al momento de la cosecha.

**Prolificidad (PROL).** Se obtuvo dividiendo el número de mazorcas cosechadas entre el número de plantas de cada unidad experimental.

**Rendimiento de grano (REND).** Se estimó multiplicando el peso seco (PS) por un factor de conversión (FC), expresado en  $t\ ha^{-1}$  al 15 % de humedad. Este valor se multiplicó por 0.85 para obtener el rendimiento de grano estimado al 85 % de desgrane.

El peso seco (PS) fue estimado multiplicando el peso de campo (PC) por el porcentaje de grano seco:

$$PS = PC * \left(1 - \frac{HUM}{100}\right)$$

El FC se calculó de la siguiente manera:

$$FC = \frac{100}{85} * \frac{10000}{APU} / 1000$$

Donde: APU (Área de parcela útil) calculada como el número de surcos por la longitud del surco por la distancia entre surcos por parcela; 100/85: coeficiente para obtener el rendimiento al 15 % de humedad; 1000: constante usada para calcular el rendimiento en t ha<sup>-1</sup>; 10000, superficie de una hectárea en m<sup>2</sup>.

### **Rendimiento de grano ajustado (RENDA)**

Debido a las fallas en el establecimiento de las plantas, se realizó un análisis de covarianza para la localidad El Mezquite, Galeana, N. L. y para cada fecha de siembra en General Cepeda, Coah. Los resultados del análisis de covarianza para El Mezquite, Galeana, N. L. y para las dos fechas de siembra para General Cepeda, Coah., fueron significativos por lo cual se hizo el ajuste en el rendimiento de grano.

El rendimiento ajustado se estimó a través de la siguiente fórmula:

$$\hat{Y} = Y - \beta_i(x_i - \bar{x})$$

Dónde:  $\hat{Y}$ : rendimiento de grano ajustado; Y, rendimiento de grano;  $\beta_i$  coeficiente de regresión;  $X_i$ , número de plantas por unidad experimental;  $\bar{x}$ , promedio de plantas por localidad.

## Análisis de la información agronómica

El análisis de los datos de la evaluación agronómica se realizó mediante un análisis de varianza (SAS Institute, 2004) donde se probaron los efectos de los genotipos y la interacción con las localidades de evaluación. En el análisis de varianza, fueron considerados como efectos fijos las localidades, los genotipos y la interacción genotipos x localidades, el resto de los efectos del modelo fueron considerados aleatorios.

El modelo lineal utilizado para el análisis de la información agronómica se describe a continuación:

$$Y_{ijkl} = \mu + L_i + R_{j(i)} + B_{k(ij)} + G_l + L_i G_l + \varepsilon_{ijkl}$$

Dónde:

$Y_{ijkl}$  = Variable de respuesta;  $\mu$  = Efecto de la media general;  $L_i$  = Efecto de la  $i$ -ésima localidad;  $R_{j(i)}$  = Efecto de la  $j$ -ésima repetición dentro de la  $i$ -ésima localidad;  $B_{k(ij)}$  = Efecto del  $k$ -ésimo bloque incompleto dentro de la  $i$ -ésima localidad por la  $j$ -ésima repetición;  $G_l$  = Efecto del  $l$ -ésimo genotipo;  $L_i G_l$  = Efecto de la  $i$ -ésima localidad por el  $l$ -ésimo genotipo;  $\varepsilon_{ijkl}$  = Error experimental.

Para obtener una mejor precisión en la prueba de hipótesis del análisis de varianza, se realizó la descomposición de suma de cuadrados de los genotipos de la siguiente manera: suma de cuadrados de poblaciones, testigos, poblaciones vs testigos.

De igual manera que en la fuente de variación genotipos, en la interacción genotipos x localidad se realizó la descomposición de la suma de cuadrados de la siguiente forma: poblaciones x localidad, testigos por localidad y (poblaciones vs testigos) x localidad.

Se realizó una comparación de medias para las localidades a través de la prueba múltiple de medias de Tukey ( $\alpha= 0.05$ ).

Los datos de repeticiones y localidades (MEZ1, MEZ2, GC1 y GC2) se utilizaron para realizar el análisis de la interacción genotipos x ambiente (G x A). Para el análisis de la interacción genotipos x ambiente, se realizó el análisis de varianza para el modelo AMMI siguiendo la metodología en SAS de Burgueño *et al.* (2002), utilizando promedios por localidad. También, se analizó a través de dos modelos del análisis de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) de acuerdo a Zobel *et al.* (1988): el modelo AMMI 1 [(primer componente principal de la interacción G x A vs efectos principales (rendimiento)] y el modelo AMMI 2 (los dos primeros componentes principales de la interacción G x A); y mediante el gráfico de dispersión GGE Biplot correspondiente al modelo propuesto por Yan *et al.* (2000).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Evaluación agronómica

Se presenta el análisis de la información agronómica en dos secciones, debido a que en la etapa de evaluación agronómica ocurrió una tormenta en la localidad de Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coah., lo que ocasionó la pérdida del experimento.

Los resultados del análisis de varianza realizado para variables tomadas en las tres localidades, muestran que hubo diferencias ( $P \leq 0.01$ ) entre localidades para todas las variables estudiadas (Cuadro 4.1), lo cual indica un efecto de las condiciones ambientales diferentes de las localidades en la expresión de estos caracteres.

Respecto a los genotipos hubo diferencias ( $P \leq 0.01$ ) en todos los caracteres. Con el propósito de analizar las causas de las diferencias existentes en los genotipos, se llevó a cabo la descomposición de la suma de cuadrados de los genotipos, donde las poblaciones mostraron diferencias ( $P \leq 0.01$ ) en todos los caracteres (Cuadro 4.1); lo anterior era de esperarse debido a que las 63 poblaciones comprendidas en el estudio pertenecen a diferentes grupos raciales y procedencia distinta.

**Cuadro 4.1.** Cuadrados medios del análisis de varianza para variables agronómicas en El Mezquite, Galeana, N. L., General Cepeda y Jagüey de Ferniza, Coah., 2013.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Altura de Planta (cm)	Altura de mazorca (cm)	Floración masculina (d)	Floración femenina (d)	Asincronía de floración (d)
Localidades (Loc)	2	5,966.37 **	4,361.46 **	29,136.20 **	26,809.06 **	98.31 **
Repeticiones (Rep)/Loc	3	29,373.76 **	18,999.27 **	369.74 **	493.61 **	82.19 **
Bloques/Loc x Rep	36	771.55 *	468.53	12.71 **	11.57 *	2.84
Genotipos (Gen)	69	2,738.78 **	2,389.91 **	345.66 **	310.15 **	8.00 **
Poblaciones (Pob)	62	2,444.82 **	2,110.03 **	325.30 **	294.07 **	7.92 **
Testigos (Tes)	6	1,038.45	1,080.20 *	494.50 **	447.50 **	3.88
Pob vs Tes	1	33,069.29 **	30,778.77 **	429.34 **	190.53 **	47.85 **
Gen x Loc	138	395.99	449.96	23.08 **	29.23 **	4.21 *
Pob x Loc	124	383.74	446.33	22.36 **	28.11 **	4.13
Tes x Loc	12	327.81	433.28	21.19 **	18.37 **	3.04
(Pob vs Tes) x Loc	2	1,372.86	722.85	67.56 **	139.00 **	14.68 *
Error	171	487.72	489.55	6.21	7.62	3.16
CV (%)		10.01	17.74	2.93	3.16	79.74

\*, \*\*= Significativo al 0.05 y al 0.01 de probabilidad, respectivamente; CV (%) = Coeficiente de variación.

Por su parte, para los testigos se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) en floración masculina y floración femenina. Una explicación a estas diferencias es debido a que cuentan con variación en madurez; mientras que para altura de mazorca se encontraron diferencias a un 0.05 de probabilidad (Cuadro 4.1).

En la comparación poblaciones vs testigos, se detectaron diferencias ( $P \leq 0.01$ ) significativas en todas las variables bajo observación (Cuadro 4.1). Las diferencias existentes en la comparación poblaciones vs testigos se atribuyen principalmente al efecto de selección, ya que los testigos son materiales mejorados.

Para los efectos de interacción genotipos x localidad hubo significancia ( $P \leq 0.01$ ) en floración masculina y floración femenina, en asincronía de floración hubo diferencias al 0.05 de probabilidad (Cuadro 4.1); en otras palabras, al menos uno de los genotipos presentó un comportamiento agronómico diferente en los caracteres de madurez en diferentes ambientes.

De igual manera que en los genotipos, se realizó la descomposición de la suma de cuadrados de la interacción genotipos x localidad. En la interacción poblaciones x localidad se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) en floración masculina y floración femenina (Cuadro 4.1), lo que indica un comportamiento diferente de las poblaciones en los caracteres de madurez en las localidades comprendidas en el estudio, debido a las condiciones de temperatura y fotoperiodo donde se desarrollaron las poblaciones. Al respecto, Andrade *et al.* (1996) mencionan que con un aumento de temperatura de 15 a

20 °C el inicio de la floración masculina se acelera, mientras que a temperaturas menores de 15 °C, el espigamiento se retrasa.

En la interacción testigos x localidad únicamente se detectaron diferencias al 0.01 de probabilidad en floración masculina y floración femenina (Cuadro 4.1), lo cual se explica porque los testigos en la evaluación han sido sometidos a programas de mejoramiento genético para diferentes áreas ecológicas.

Por otro lado, el análisis de varianza realizado para las variables que se lograron medir únicamente en dos localidades (El Mezquite, Galeana, N. L. y General, Cepeda, Coah.) muestran diferencias ( $P \leq 0.01$ ) entre localidades (Cuadro 4.2); lo cual indica un efecto de las condiciones ambientales (Cuadro 3.2) en la expresión fenotípica de estos caracteres.

Con respecto a los genotipos, se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$  y  $P \leq 0.05$ ) en los tres caracteres evaluados. Las poblaciones muestran diferencias ( $P \leq 0.01$ ) en mazorcas podridas y rendimiento de grano, mientras que en prolificidad la significancia fue al 0.05 de probabilidad (Cuadro 4.2).

Por otra parte, en la fuente de variación testigos, únicamente se encontraron diferencias ( $P \leq 0.01$ ) en rendimiento de grano (Cuadro 4.2). Las cuales pueden ser debidas a que los testigos utilizados (cuatro variedades sintéticas, dos variedades mejoradas y una variedad experimental) corresponden a diferentes ciclos vegetativos, además cuentan con variación en tipo de grano y en constitución genética.

**Cuadro 4.2.** Cuadrados medios del análisis de varianza para variables agronómicas en El Mezquite, Galeana, N. L. y General Cepeda, Coah., 2013.

Fuente de variación	Grados de libertad	Mazorcas podridas (%)	Prolificidad	Rendimiento de grano (t ha <sup>-1</sup> )
Localidades (Loc)	1	49,587.72 **	2.70 **	644.94 **
Repeticiones (Rep)/Loc	2	10,494.94 **	0.73 **	114.73 **
Bloques/Loc x Rep	24	91.52	0.01	1.78
Genotipos (Gen)	69	290.15 **	0.05 *	5.64 **
Poblaciones (Pob)	62	287.71 **	0.05 *	4.66 **
Testigos (Tes)	6	133.46	0.03	11.05 **
Pob vs Tes	1	1,410.70 **	0.19 *	26.29 **
Gen x Loc	69	207.25 **	0.03	3.10 **
Pob x Loc	62	209.71 **	0.03	3.24 **
Tes x Loc	6	59.81	0.03	1.30
(Pob vs Tes) x Loc	1	1,111.84 **	0.04	4.82
Error	114	67.78	0.03	1.81
CV (%)		46.79	18.63	22.31

\*, \*\*= Significativo al 0.05 y al 0.01 de probabilidad, respectivamente; CV (%) = Coeficiente de variación.

En la comparación poblaciones vs testigos se detectaron diferencias ( $P \leq 0.01$ ) en mazorcas podridas y rendimiento, en prolificidad se encontraron diferencias al 0.05 de probabilidad (Cuadro 4.2). Estas diferencias se deben principalmente a los efectos de selección, ya que se está comparando las poblaciones criollas con materiales mejorados.

En lo que respecta a la interacción genotipos por localidad, no hubo diferencias en prolificidad (Cuadro 4.2). Las diferencias ( $P \leq 0.01$ ) en mazorcas podridas y rendimiento de grano, indican un comportamiento desigual de los genotipos en las localidades, en otras palabras, indican un cambio relativo en el ordenamiento que estos presentaron en cada localidad.

De acuerdo a la descomposición de suma de cuadrados en la fuente de variación genotipos x localidad, las diferencias en mazorcas podridas y rendimiento de grano, se deben a las diferencias encontradas en la interacción de las poblaciones x localidad (Cuadro 4.2).

En la interacción testigos x localidad no se encontraron diferencias en ninguna de las variables (Cuadro 4.2). Lo anterior se explica debido a que los testigos cuentan con mejoramiento genético y por lo tanto, muestran estabilidad a través de los ambientes para estos caracteres, manifestando un orden similar en las diferentes localidades de evaluación.

En el Cuadro 4.3 se presenta la comparación de medias del análisis de varianza para variables agronómicas tomadas en las tres localidades de evaluación. Por otra parte, el Cuadro 4.4 muestra la comparación de medias del análisis de varianza para las variables que se tomaron únicamente en dos localidades (El Mezquite, Galeana, N. L. y General Cepeda, Coah.).

En la comparación de medias para localidades, se obtuvo un mayor rendimiento de grano ( $3.04 \text{ t ha}^{-1}$  más que en General Cepeda, Coah.) en la localidad El Mezquite, Galeana, N. L., con un rendimiento promedio de grano de  $7.55 \text{ t ha}^{-1}$ , los genotipos en esta localidad presentaron una menor altura de planta y altura de mazorca, tuvieron una maduración más tardía (floración masculina y femenina), además de presentar una mayor prolificidad y un menor porcentaje de mazorcas podridas. La mayor asincronía de floración se presentó en General Cepeda 1 (Cuadros 4.3 y 4.4).

Cabe mencionar que el rendimiento de grano de General Cepeda, Coah., se vio afectado debido a que hubo dos fechas de siembra, lo que representan a dos ambientes totalmente contrastantes. El rendimiento promedio de grano de la primera fecha de siembra fue de  $3.50 \text{ t ha}^{-1}$ , mientras que para la segunda, fue de  $5.53 \text{ t ha}^{-1}$ . La primera fecha de siembra coincidió con el periodo de sequía, en tanto que la segunda, con el periodo normal de lluvia (temporal).

**Cuadro 4.3.** Comparación de medias de variables agronómicas en El Mezquite, Galeana, N. L., General Cepeda y Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coah.

Localidad	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)	Floración masculina (d)	Floración femenina (d)	Asincronía de floración (d)
General Cepeda 1	217.20 b <sup>†</sup>	129.50 a	68.21 b	71.23 c	4.23 a
General Cepeda 2	230.30 a	124.80 a	68.60 b	70.23 d	1.63 c
El Mezquite	213.07 b	118.32 b	93.54 a	95.99 a	2.46 b
Jagüey de Ferniza	224.92 a	128.65 a	93.25 a	94.55 b	1.30 c
Media	220.58	124.71	85.06	87.29	2.23
Tukey ( $\alpha= 0.05$ )	6.24	6.25	0.70	0.78	0.50

<sup>†</sup> Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

**Cuadro 4.4.** Comparación de medias de variables agronómicas en El Mezquite, Galeana, N. L. y General Cepeda, Coah.

Localidad	Mazorcas podridas (%)	Prolificidad	Rendimiento de grano (t ha <sup>-1</sup> )
El Mezquite	4.29 c <sup>†</sup>	1.06 a	7.55 a
General Cepeda 1	43.15 a	0.76 c	3.50 c
General Cepeda 2	18.66 b	0.96 b	5.53 b
Media	17.60	0.96	6.03
Tukey ( $\alpha= 0.05$ )	1.95	0.04	0.32

<sup>†</sup> Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

## Potencial de rendimiento de las poblaciones nativas

Con base al rendimiento de grano a través de ambientes, se identificaron a las mejores 25 poblaciones, en referencia a los siete testigos (Cuadro 4.5). Las 25 poblaciones con mayor rendimiento de grano corresponden principalmente a las razas Ratón (nueve poblaciones), Tuxpeño (seis poblaciones), cuatro poblaciones de la raza Tuxpeño Norteño, dos poblaciones de la raza Cónico Norteño; y una población de las razas Elotes Cónicos, Elotes Occidentales, Celaya y Olotillo, respectivamente (Cuadro 4.5). Nájera *et al.* (2010) también identificaron a las razas Ratón, Tuxpeño y Tuxpeño Norteño como las de mayor potencial de rendimiento, en un ensayo de evaluación de materiales nativos de Coahuila.

Diecinueve de las poblaciones evaluadas (30.1 %) mostraron un potencial de rendimiento superior a través de los ambientes de evaluación de acuerdo al criterio de selección ( $\mu + 2 EE$ ), y cinco de ellas 13\_R, 38\_T, 52\_T, 40\_R y 54\_T con rendimiento similar a los mejores testigos (6222, POOL31 y 6221). También, resalta el comportamiento de las poblaciones 54\_T, 45\_R y 17\_EC con rendimientos superiores en los cuatro ambientes de evaluación, en General Cepeda, Coah. y El Mezquite, Galeana, N. L. En el estudio se incluyó a dos variedades mejoradas para el temporal (JAGUAN y VAN210) con rendimiento de grano a través de ambientes de 5.89 y 4.22 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 4.5).

**Cuadro 4.5.** Medias de rendimiento de grano y floración masculina de las 25 poblaciones superiores y los testigos en la evaluación agronómica, en 2013.

Población <sup>†</sup>	Rendimiento de grano (t ha <sup>-1</sup> ) <sup>†</sup>					Floración masculina (d)			
	Promedio	GC1	GC2	MEZ1	MEZ2	GC1	GC2	MEZ1	MEZ2
13_R	8.46 *	5.09 *	8.14 *	11.71 *	8.89	70.0 *	65.0	89.0	94.0
38_T	8.22 *	7.53 *	10.18 *	8.23	6.92	73.0 *	68.0	103.0 *	103.0 *
52_T	8.21 *	2.63	8.09 *	13.41 *	8.73 *	79.0 *	79.0 *	103.0 *	110.0 *
40_R	8.06 *	3.88	9.70 *	7.83	10.84 *	77.0 *	80.0 *	105.0 *	107.0 *
54_T	7.89 *	4.13 *	5.91 *	11.79 *	9.71 *	74.0 *	75.0 *	102.0 *	112.0 *
34_TN	7.72 *	6.42 *	7.61 *	8.52	8.35 *	83.0 *	81.0 *	83.0	116.0 *
45_R	7.56 *	4.65 *	6.62 *	11.16 *	7.80 *	68.0	69.0	94.0 *	103.0 *
49_T	7.47 *	8.13 *	7.65 *	6.96	7.14 *	72.0 *	72.0 *	98.0 *	108.0 *
17_EC	7.42 *	5.80 *	7.41 *	8.98 *	7.48 *	72.0 *	69.0	86.0	101.0 *
39_R	6.93 *	5.36 *	6.30 *	9.10 *	6.97	77.0 *	80.0 *	108.0 *	116.0 *
16_T	6.90 *	6.43 *	7.24 *	8.83 *	5.09	70.0 *	67.0	96.0 *	103.0 *
2_R	6.87 *	4.98 *	6.99 *	8.75	6.75	72.0 *	71.0 *	98.0 *	101.0 *
18_TN	6.86 *	1.67	9.25 *	10.05 *	6.48	69.0	68.0	96.0 *	103.0 *
33_EO	6.82 *	2.36	6.20 *	9.92 *	8.82 *	72.0 *	72.0 *	94.0 *	94.0
59_TN	6.73 *	3.31	8.22 *	8.23	7.16 *	76.0 *	75.0 *	108.0 *	116.0 *
23_C	6.58 *	5.25 *	5.02 *	9.51 *	6.56	68.0	73.0 *	94.0 *	100.0 *
56_R	6.55 *	3.83	5.63 *	9.75 *	6.99	76.0 *	75.0 *	101.0 *	103.0 *
55_T	6.53 *	0.80	7.23 *	10.30 *	7.78 *	74.0 *	71.0 *	101.0 *	103.0 *
15_R	6.49 *	5.35 *	7.31 *	7.98	5.30	72.0 *	73.0 *	98.0 *	103.0 *
11_R	6.43	2.64	6.65 *	8.73	7.68 *	72.0 *	72.0 *	96.0 *	102.0 *
1_O	6.31	5.94 *	5.88 *	7.55	5.85	65.0	69.0	91.0	98.0
8_CN	6.21	1.18	4.75 *	11.08 *	7.82 *	66.0	69.0	85.0	91.0
35_R	6.19	1.54	5.08 *	10.03 *	8.10 *	79.0 *	73.0 *	101.0 *	105.0 *
9_TN	6.18	3.42	4.74 *	10.14 *	6.43	70.0 *	69.0	96.0 *	103.0 *
43_CN	6.10	2.52	4.84 *	10.40 *	6.65	63.0	62.0	81.0	88.0
<b>Testigos</b>									
6222	8.60 *	7.10 *	8.98 *	10.10 *	8.20 *	79.0 *	73.0 *	105.0 *	110.0 *
POOL31	8.58 *	8.38 *	7.51 *	11.39 *	7.02	72.0 *	72.0 *	102.0 *	107.0 *
6221	8.33 *	7.31 *	8.47 *	8.48	9.07 *	76.0 *	75.0 *	108.0 *	116.0 *
POOL32	7.63 *	5.74 *	5.89 *	11.87 *	7.04	70.0 *	72.0 *	96.0 *	102.0 *
POBAM	7.62 *	5.68 *	7.37 *	9.66 *	7.76 *	68.0	65.0	91.0	100.0 *
JAGUAN	5.89	2.53	5.60 *	9.26 *	6.19	64.0	66.0	89.0	93.0
VAN210	4.22	0.78	4.90 *	6.98	4.20	58.0	57.0	76.0	81.0
<b>Media</b>	6.03	3.50	5.53	8.33	6.77	68.21	68.60	90.74	96.33
<b>EE</b>	0.22	0.24	0.23	0.23	0.18	0.69	0.63	1.04	1.16
<b>Máximo</b>	8.60	8.38	10.18	13.41	10.84	83.0	81.0	108.0	116.0
<b>Mínimo</b>	4.22	0.77	1.53	4.43	2.55	56.0	57.0	76.0	81.0

<sup>†</sup> GC1 y GC2 = General Cepeda ambiente 1 y 2; MEZ1 y MEZ2 = Mezquite ambiente 1 y 2; <sup>‡</sup> La descripción corresponde al número de entrada asignado y el indicador del grupo racial: C= Celaya; R= Ratón; T= Tuxpeño; TN= Tuxpeño Norteño; EC= Elotes Cónicos; EO= Elotes Occidentales; O= Olotillo; \* = Valores superiores a la  $\mu + 2$  veces el error estándar; EE= Error estándar.

El comportamiento promedio superior a través de ambientes de las poblaciones de maíz con diferente grupo racial, así como la identificación de poblaciones con rendimiento aceptable en los cuatro ambientes, muestra el potencial genético de las poblaciones nativas y su importancia en la selección.

En relación a la madurez (floración masculina) que presentaron las 25 poblaciones con mayor rendimiento de grano, doce de estas, fueron también las más tardías dentro de los cuatro ambientes de evaluación (Cuadro 4.5). Se puede notar en el Cuadro 4.5 que los cuatro ambientes en las localidades General Cepeda, Coah. y El Mezquite, Galeana, N. L., tuvieron un efecto en la madurez de las poblaciones, con una diferencia promedio de 20 días entre las dos localidades.

Por otro lado, respecto a la madurez que presentaron los testigos a través de los ambientes de evaluación, los testigos JAGUAN, POBAM y VAN210 fueron los más precoces, y los que presentaron el menor rendimiento de grano (Cuadro 4.5). Todos los testigos presentaron una mayor precocidad en General Cepeda, Coah.; mientras que en El Mezquite, Galeana, N. L. fueron más tardíos (Cuadro 4.5).

## Interacción genotipo x ambiente

El modelo de la interacción de efectos aditivos principales y multiplicativos (AMMI), ha demostrado ser más eficiente que otras técnicas tradicionales de análisis donde es imprescindible discernir a detalle sobre las características de la interacción genotipo x ambiente (Zobel *et al.*, 1988). El Cuadro 4.6 muestra el análisis de varianza del modelo AMMI para rendimiento de grano de los 70 genotipos de maíz. En la descomposición de los efectos de la interacción genotipo x ambiente, únicamente los primeros dos componentes principales (CP1 y CP2) muestran diferencias, con significancia de 0.01 y 0.05 de probabilidad, respectivamente. El primer componente principal (CP1) explica el 50.84 % de la suma de cuadrados de la interacción genotipos x localidad (G x L), con 24 grados de libertad de la interacción. El componente principal dos (CP2) explica un 28.83 % de la suma de cuadrados de la interacción G x L, con 23 grados de libertad de la interacción. De acuerdo con Crossa (1990), un valor confiable para una buena interpretación de la interacción genotipo x ambiente, debe ser una proporción mayor que un 75 %, lo cual sucede en este análisis ya que los primeros dos componentes principales explican un 79.17 % de la suma de cuadrados de la interacción G x L (Cuadro 4.6).

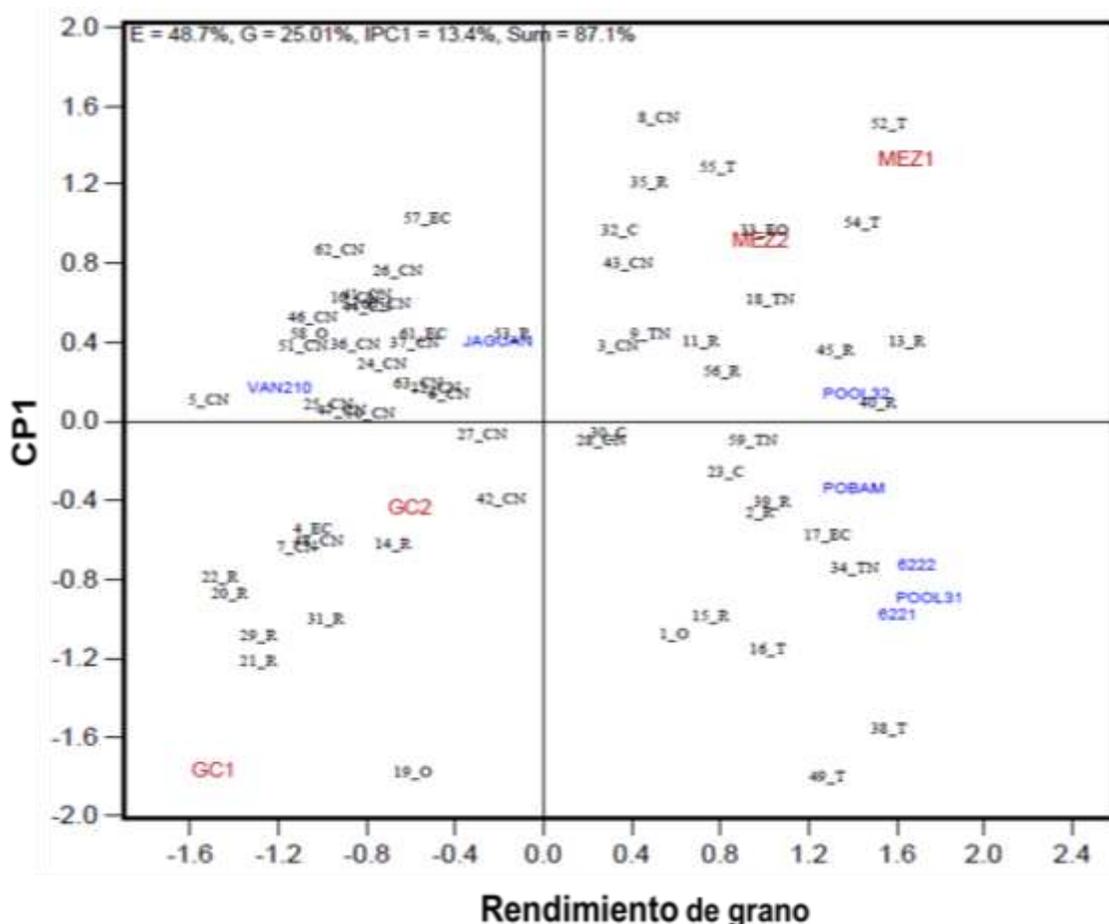
**Cuadro 4.6.** Análisis de varianza AMMI para rendimiento de grano de los 70 genotipos de maíz evaluados en El Mezquite, Galeana, N. L. y General Cepeda, Coah., 2013.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	
Localidades (Loc)	1	644.94	644.94	356.42	**
Repeticiones (Rep)/Loc	2	229.47	114.73	63.41	**
Bloques/(Loc x Rep)	24	42.67	1.78	0.98	
Genotipos (Gen)	69	389.03	5.64	3.12	**
Gen x Loc	69	213.88	3.10	1.71	**
CP1	24	108.74	4.59	2.54	**
CP2	23	61.66	2.68	1.48	*
Residual	22	43.49	1.95	1.08	
Error	114	206.29	1.81		

\*, \*\*= Significativo al 0.05 y al 0.01 de probabilidad, respectivamente; CP1= Primer Componente principal; CP2= Componente principal dos.

### Modelo AMMI 1

El modelo AMMI es útil para interpretar gráficamente la respuesta de los genotipos, de los ambientes y de la interacción genotipo x ambiente (Zobel *et al.*, 1988). La respuesta de interacción de las Poblaciones x Ambientes de evaluación, puede ser útil para identificar a las poblaciones con adaptación específica a las condiciones de las localidades incluidas en el estudio. La Figura 4.1 corresponde al gráfico biplot generado del modelo AMMI 1 para rendimiento de grano. En este análisis el componente principal uno (CP1) y los efectos principales (rendimiento) logran una explicación de un 87.1 %, que corresponde al 73.71 % del fenotipo (48.7 y 25.01 de efectos ambientales y genotipos, respectivamente) y el 13.4 % de la variación del primer componente principal de la interacción genotipo x ambiente.



**Figura 4.1.** Dispersión gráfica del modelo AMMI 1 para la interacción genotipo ambiente para rendimiento de grano de los 70 genotipos evaluados en dos localidades. Las letras en los puntos correspondientes a las poblaciones indican el grupo racial y el número de población. T= Tuxpeño; TN= Tuxpeño Norteño; C= Celaya; EO= Elotes Occidentales; EC= Elotes Cónicos; R= Ratón; CN= Cónico Norteño; O= Olotillo.

En la Figura 4.1 se analiza el rendimiento de grano (eje de la abscisa) y la interacción genotipo x ambiente (eje de la ordenada). De esta manera, se puede identificar los genotipos con mayor rendimiento promedio (valores positivos del eje de la abscisa) y los de menor rendimiento promedio (valores negativos del eje de la abscisa).

De manera similar, el grupo de genotipos con adaptación a El Mezquite, Galeana, N. L. (valores positivos del CP1 y alejados del origen) y el grupo de genotipos con adaptación a General Cepeda, Coah., (valores negativos del CP1 y alejados del origen). En la Figura 4.1, se usó como criterio el rango  $-0.35 \leq 0 \leq 0.35$  del CP1 para identificar a un grupo de genotipos con adaptación promedio a las dos localidades, que corresponde a una interpretación de la estabilidad de genotipos a través de ambientes (Yan y Tinker, 2006). De acuerdo a la Figura 4.1, los genotipos con mayor rendimiento se obtuvieron en la localidad El Mezquite, Galeana, N. L., posteriormente la localidad General Cepeda 2 y finalmente General Cepeda 1, lo que se puede justificar en el Cuadro 4.4.

Con respecto a la adaptación de los genotipos, a través de la Figura 4.1 se identifican tres grupos de genotipos: el primer grupo con 29 genotipos con adaptación a El Mezquite, Galeana, N. L., que representan un 41.43 %. El segundo grupo con adaptación a General Cepeda, Coah., con 24 genotipos (34.29 %). Además, de un tercer grupo con 17 genotipos, los cuales fueron considerados como estables a través de las dos localidades, representando un 24.28 %.

Por otro lado, en la localidad El Mezquite, Galeana, N. L., las razas predominantes fueron: Cónico Norteño (44.83 %) y Ratón (17.24 %) (Figura 4.1). Con base a lo anterior, Wellhausen *et al.* (1951) mencionan que la raza de maíz Cónico Norteño, se ha encontrado cultivada a elevaciones de 1,600 a 2100 msnm, aun y cuando se adapta mejor a los lugares de esa zona, cuya altura varia de 1800 a 2000 msnm, condiciones de altura prevalecientes en El

Mezquite, Galeana, N. L. (1910 msnm), motivo por el cual esta raza de maíz se adaptó en gran medida a esta localidad.

En General Cepeda Coah., las razas predominantes fueron: Ratón (37.5 %), Cónico Norteño y Tuxpeño con un 12.50 %, respectivamente (Figura 4.1). Por lo anterior, cabe mencionar que la raza Tuxpeño se cultiva desde el nivel del mar hasta los 500 msnm (Wellhausen *et al.*, 1951); sin embargo, las poblaciones 38, 49 y 16 de esta raza se adaptaron a General Cepeda, Coah., localidad que está ubicada a 1457 msnm, por lo cual estas poblaciones representan una alternativa para la incursión de nuevos materiales en el área de estudio, con buenas características agronómicas, para satisfacer las necesidades de producción de la región. En el grupo de genotipos estables las razas predominantes fueron: Cónico Norteño (diez poblaciones), Ratón y Celaya con dos poblaciones, respectivamente (Figura 4.1).

En lo que respecta a rendimiento de grano (Cuadro 4.5) en cada localidad, las poblaciones con mayor rendimiento en El Mezquite, Galeana, N. L., fueron: las poblaciones 52, 54 (Tuxpeño) y 18 (Tuxpeño Norteño) (Figura 4.1).

Es importante señalar el comportamiento de las poblaciones 55\_T, 35\_R y 32\_C, con adaptación en áreas intermedias, con rendimientos aceptables en la localidad de El Mezquite, Galeana, N. L., las cuales pueden ser una alternativa para el mejoramiento genético.

Según Ortega (1985), la distribución de la raza Tuxpeño Norteño se encuentra en regiones ubicadas por debajo de los 1400 metros, sin embargo, la población 18 de esta raza fue una de las poblaciones con mayor rendimiento, teniendo adaptación a El Mezquite, Galeana, N. L., siendo una población potencial para los agricultores de esta localidad.

En sentido contrario, las poblaciones 38, 49 (Tuxpeño), 34 (Tuxpeño Norteño) y 17 (Elotes Cónicos) tuvieron el mayor rendimiento en General Cepeda, Coah. Destaca en este grupo la población 17 (Elotes Cónicos), la cual es una raza de valles altos y que tuvo una respuesta satisfactoria en localidades intermedias. Dentro de las poblaciones consideradas como estables, las de mayor rendimiento fueron las poblaciones 40 y 56 de la raza Ratón, 59 (Tuxpeño Norteño) y 23 (Celaya) (Figura 4.1).

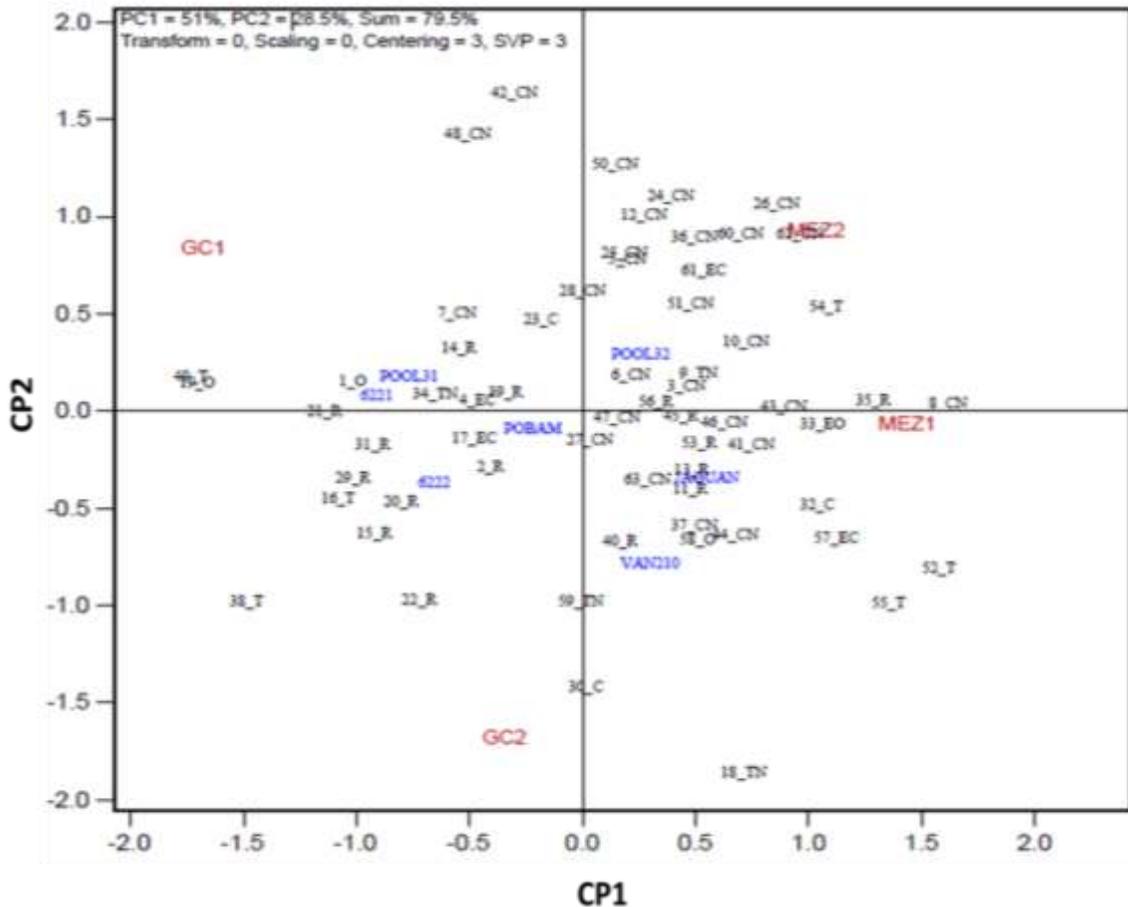
Por otra parte, en lo que respecta a los testigos, se identificaron cuatro genotipos con adaptación a General Cepeda, Coah. (POBAM, POOL31, 6221 y 6221); la variedad JAGUAN adaptada a la localidad El Mezquite, Galeana, N. L., y la variedad VAN210 y el POOL32, como genotipos de alto y bajo rendimiento a través de los ambientes de evaluación (Figura 4.1).

## Modelo AMMI 2

La Figura 4.2 corresponde a la dispersión gráfica del modelo AMMI 2 para rendimiento de grano. En este análisis, los dos componentes principales logran una explicación del 79.5 % de la interacción genotipo x ambiente en rendimiento de grano. En la Figura 4.2, se analiza la interacción genotipo x ambiente en rendimiento de grano. En la Figura 4.2 se observa una correlación positiva entre los ambientes de El Mezquite, Galeana, N. L. (ángulo entre los vectores  $\leq 45^\circ$ ). En la localidad de General Cepeda, Coah., el ángulo entre los dos ambientes es mayor a  $90^\circ$ , por lo tanto, muestra una relación independiente y se debe a las condiciones ambientales de las dos fechas de siembra. Sin embargo, en términos de interpretación en dos ejes, el primer componente principal separa a las dos localidades, por lo que se puede identificar un rango de  $-0.25 \leq 0 \leq 0.25$  del CP1 como área promedio de comportamiento de los genotipos.

Bajo estos criterios, en la Figura 4.2 se puede identificar el grupo de genotipos con adaptación a El Mezquite, Galeana, N. L. (valores superiores a 0.25 del CP1) y el grupo de genotipos con adaptación a General Cepeda, Coah. (valores menores a -0.25 del CP1). De esta manera, se identificaron tres grupos de genotipos de acuerdo a su adaptación: El primer grupo con adaptación a General Cepeda Coah. con 23 genotipos, que representan un 32.86 %. El segundo grupo con adaptación a El Mezquite, Galeana, N. L. con 31 genotipos, representando el 44.28 %. Además, de un tercer grupo con 16 genotipos (22.86 %), los cuales presentan estabilidad a través de ambientes.

Yan *et al.* (2000) mencionan que los genotipos más cercanos al origen son los más estables, y al alejarse de éste, su comportamiento es más variable.



**Figura 4.2.** Dispersión gráfica del modelo AMMI 2 para la interacción genotipo ambiente para rendimiento de grano de los 70 genotipos evaluados en dos localidades. Las letras en los puntos correspondientes a las poblaciones indican el grupo racial y el número de población. T= Tuxpeño; TN= Tuxpeño Norteño; C= Celaya; EO= Elotes Occidentales; EC= Elotes Cónicos; R= Ratón; CN= Cónico Norteño; O= Olotillo.

Aun cuando las relaciones entre ambientes son diferentes, en la Figura 4.2 se puede identificar a las poblaciones 55\_T, 52\_T, 54\_T, 32\_C, 35\_R y 33\_EO de áreas intermedias, con buena adaptación a la localidad El Mezquite, Galeana, N. L., las cuales pueden ser de utilidad en esquemas de selección.

También, se puede identificar a las poblaciones 17\_EC, 4\_EC, 7\_CN, 48\_CN y 42\_CN que son poblaciones de valles altos, y con buen comportamiento en la localidad de General Cepeda, Coah.

En General Cepeda Coah., las razas sobresalientes fueron: Ratón (39.13 %) y Tuxpeño (13.04 %). En El Mezquite, Galeana, N. L. fueron las razas: Cónico Norteño (45.16 %) y Ratón (19.35 %); en el grupo de genotipos estables las razas sobresalientes fueron: Cónico Norteño (56.25 %) y Celaya con un 12.50 % (Figura 4.2).

Respecto a los testigos, se identificaron tres grupos; el primero con adaptación a General Cepeda Coah. con tres genotipos (POOL31, 6221 y 6221), representando un 42.86 %. El segundo grupo con un genotipo (JAGUAN) con adaptación a El Mezquite, Galeana, N. L (14.28 %). También, un tercer grupo con tres genotipos (VAN210, POOL32 y POBAM) considerados como estables a través de las localidades que representan un 42.86 % (Figura 4.2).

### **Modelo GGE Biplot**

La Figura 4.3 representa la dispersión de los genotipos con respecto a los cuatro ambientes en las localidades de evaluación. En este análisis los dos componentes principales logran una explicación de un 75 % en la variación de la interacción genotipo x ambiente del rendimiento de grano (Genotipos + Genotipos x Ambientes).



Según Yan y Tinker (2006), el ángulo que forman los vectores de los ambientes (GC1, GC2, MEZ1 y MEZ2) a partir del origen, indica el nivel de asociación. Por lo tanto, entre las dos localidades los ambientes muestran un comportamiento independiente entre ellos (ángulos aproximadamente de 90).

La ubicación de los genotipos en las ordenadas con dirección alejada del origen, indican la respuesta positiva a un ambiente específico; mientras que, los genotipos ubicados cerca de la línea de las abscisas, son consideradas como estables en rendimiento de grano a través de los ambientes (Yan y Tinker, 2006).

Por lo antes mencionado, en la Figura 4.3 se identificaron tres grupos de genotipos de acuerdo a su adaptación: El primer grupo con adaptación a General Cepeda Coah. con 21 genotipos, que representan un 30.00 %. El segundo grupo con adaptación a El Mezquite, Galeana, N. L. con 27 genotipos representando el 38.57 %; además, de un tercer grupo con 22 genotipos (31.43 %) considerados como estables a través de ambientes.

En General Cepeda Coah., las razas sobresalientes fueron: Ratón (30.09 %) y Tuxpeño (14.28 %). En El Mezquite, Galeana, N. L. fueron las razas: Cónico Norteño (55.56 %) y Ratón (18.52 %); en el grupo de genotipos estables las razas sobresalientes fueron: Cónico Norteño (nueve poblaciones), Ratón y Tuxpeño Norteño con tres poblaciones, respectivamente (Figura 4.3).

En lo correspondiente a las poblaciones con mayor rendimiento de grano (Cuadro 4.5) en cada localidad y de acuerdo a la Figura 4.3, las poblaciones 34 (Tuxpeño Norteño), 17 (Elotes Cónicos), 39 (Ratón) y las poblaciones 38 y 49 de la raza Tuxpeño, fueron las de mayor rendimiento de grano en General Cepeda Coah.; el maíz Tuxpeño es una de las razas más importantes desde el punto de vista de su influencia en las razas modernas agrícolamente productivas, tanto en México como en los Estados Unidos de Norte América (Wellhausen *et al.*, 1951). En sentido opuesto, las poblaciones 54, 52, (Tuxpeño), 33 (Elotes Occidentales), 40 y 13 de la raza Ratón, fueron las poblaciones de mayor rendimiento de grano en El Mezquite, Galeana, N. L. (Figura 4.3).

Dentro de los genotipos considerados estables las poblaciones de mayor rendimiento de grano (Cuadro 4.5) fueron: las poblaciones 59 y 18 de la raza Tuxpeño Norteño, 23 (Celaya) y 45, 56 (Ratón) (Figura 4.3). Según Babić *et al.* (2006), tanto la estabilidad como el rendimiento pueden ser considerados simultáneamente en el mejoramiento genético con el fin de reducir el efecto de la interacción genotipo por ambiente y en base a ello seleccionar genotipos con mayores rendimientos y que respondan bien a los cambios de los efectos ambientales.

Respecto a los testigos, se identificaron dos grupos; el primero con adaptación a General Cepeda Coah., con tres genotipos (POOL31, 6221 y 6221). El segundo grupo con cuatro genotipos considerados como estables a través de las localidades (JAGUAN, VAN210, POBAM y POOL32) (Figura 4.3).

En lo correspondiente a los testigos, los de mayor rendimiento de grano (Cuadro 4.5) fueron POOL31, 6221 y 6222 con adaptación a General Cepeda Coah.; entre los materiales estables y con el mayor rendimiento de grano se encuentran POBAM y POOL32; los testigos JAGUAN y VAN210 mostraron estabilidad a través de los ambientes. Sin embargo, tuvieron el menor rendimiento de grano de los testigos, siendo VAN210 el que tuvo el menor rendimiento (Figura 4.3).

El Cuadro 4.7 presenta la comparación de los tres modelos utilizados (AMMI 1, AMMI 2 y GGE Biplot) para el estudio de la interacción genotipo x ambiente en las dos localidades para las 63 poblaciones y los siete testigos. De acuerdo con el criterio utilizado en los tres modelos, correspondiente a la adaptación en las dos localidades y la estabilidad de los genotipos, se encuentran 62 coincidencias (88.5 %) entre los tres modelos. Las ocho diferencias encontradas en cuanto a la clasificación de los genotipos de los tres modelos se deben básicamente a los criterios de interpretación (rangos usados en cada figura) que se asignaron para cada modelo, ya que el posicionamiento de los genotipos en las tres figuras es similar.

De acuerdo al número de poblaciones encontradas pertenecientes al mismo grupo racial, los tres modelos utilizados coincidieron en que las razas Ratón y Tuxpeño fueron las de mayor adaptación a General Cepeda, Coah. En El Mezquite, Galeana, N. L. coincidieron en cuanto a que las razas Cónico Norteño y Ratón fueron las razas de mayor adaptación a esta localidad. Entre

los genotipos denominados como estables, los tres modelos coincidieron en que la raza Cónico Norteño fue la más sobresaliente (Cuadro 4.7).

**Cuadro 4.7.** Clasificación de los 70 genotipos de maíz evaluados en 2013, de acuerdo a los modelos de interacción genotipo ambiente.

<b>Población<sup>l</sup></b>	<b>AMMI 1</b>	<b>AMMI 2</b>	<b>GGE Biplot</b>
1_0	GC	GC	GC
2_R	GC	GC	GC
3_CN	MEZ	MEZ	MEZ
4_EC	GC	GC	GC
5_CN	Estable	Estable	Estable
6_CN	Estable	Estable	Estable
7_CN	GC	GC	GC
8_CN	MEZ	MEZ	MEZ
9_TN	MEZ	MEZ	MEZ
10_CN	MEZ	MEZ	MEZ
11_R	MEZ	MEZ	MEZ
12_CN *	Estable	Estable	MEZ
13_R	MEZ	MEZ	MEZ
14_R	GC	GC	GC
15_R	GC	GC	GC
16_T	GC	GC	GC
17_EC	GC	GC	GC
18_TN	MEZ	MEZ	MEZ
19_O	GC	GC	GC
20_R	GC	GC	GC
21_R	GC	GC	GC
22_R	GC	GC	GC
23_C *	Estable	Estable	GC
24_CN *	Estable	MEZ	MEZ
25_CN	Estable	Estable	Estable
26_CN	MEZ	MEZ	MEZ
27_CN	Estable	Estable	Estable
28_CN	Estable	Estable	Estable
29_R	GC	GC	GC
30_C *	Estable	Estable	GC
31_R	GC	GC	GC
32_C	MEZ	MEZ	MEZ
33_EO	MEZ	MEZ	MEZ
34_TN	GC	GC	GC
35_R	MEZ	MEZ	MEZ
36_CN	MEZ	MEZ	MEZ
37_CN	MEZ	MEZ	MEZ
38_T	GC	GC	GC
39_R	GC	GC	GC
40_R *	Estable	Estable	MEZ
41_CN	MEZ	MEZ	MEZ
42_CN *	GC	Estable	GC

43_CN	MEZ	MEZ	MEZ
44_CN	MEZ	MEZ	MEZ
45_R	MEZ	MEZ	MEZ
46_CN	MEZ	MEZ	MEZ
47_CN	Estable	Estable	Estable
48_CN	GC	GC	GC
49_T	GC	GC	GC
50_CN	Estable	Estable	Estable
51_CN	MEZ	MEZ	MEZ
52_T	MEZ	MEZ	MEZ
53_R	MEZ	MEZ	MEZ
54_T	MEZ	MEZ	MEZ
55_T	MEZ	MEZ	MEZ
56_R	Estable	Estable	Estable
57_EC	MEZ	MEZ	MEZ
58_O *	MEZ	MEZ	Estable
59_TN	Estable	Estable	Estable
60_CN	MEZ	MEZ	MEZ
61_EC	MEZ	MEZ	MEZ
62_CN	MEZ	MEZ	MEZ
63_CN	Estable	Estable	Estable

### Testigos

6221	GC	GC	GC
6222	GC	GC	GC
JAGUAN	MEZ	MEZ	MEZ
POBAM *	Estable	Estable	GC
POOL31	GC	GC	GC
POOL32	Estable	Estable	Estable
VAN210	Estable	Estable	Estable

MEZ= Mezquite; GC= General Cepeda; \*= Genotipos con clasificación diferente respecto a los tres modelos utilizados en el análisis de la interacción genotipo x ambiente; <sup>†</sup> La descripción corresponde al número de entrada asignada y el indicador del grupo racial: T= Tuxpeño; TN= Tuxpeño Norteño; C= Celaya; EO= Elotes Occidentales; EC= Elotes Cónicos; R= Ratón; CN= Cónico Norteño; O= Olotillo.

En cuanto al número de poblaciones encontradas pertenecientes al mismo grupo racial entre los genotipos denominados estables, el modelo AMMI 1 clasificó como las razas más estables a las razas Cónico Norteño, Ratón y Celaya, mientras que a través del modelo AMMI 2 las razas más estables fueron Cónico Norteño y Celaya. El modelo GGE Biplot clasificó a la raza Cónico Norteño como la más estable (Cuadro 4.7).

Por otro lado, respecto a la comparación de los tres modelos utilizados para el estudio de la interacción genotipo x ambiente en el presente estudio, el gráfico biplot generado del modelo AMMI 1, permite una fácil agrupación de los genotipos de acuerdo a su área de adaptación y determina el potencial de rendimiento de los genotipos. El modelo AMMI 1 considera al primer componente principal (13.4 %), más el efecto del ambiente (48.7 %), más el efecto de los genotipos (25.01 %) (Efectos principales), por lo cual es un modelo que tiene un mayor sesgo debido al efecto ambiental existente; por lo tanto, no se consideró como el modelo más apropiado para el estudio de la interacción genotipo x ambiente.

El modelo AMMI 2 (primer componente principal vs componente principal dos) proporciona información acerca de la interacción genotipo x ambiente, analiza la relación entre ambientes y por lo tanto, la adaptación específica de los genotipos con relación a los vectores de los ambientes. Sin embargo, la interpretación del área de estabilidad en este modelo al parecer no es muy útil como en los modelos AMMI 1 y GGE Biplot; además de que a través de este modelo no se puede detectar el potencial de rendimiento de grano de los genotipos, motivo por el cual este modelo no resultó muy útil para los fines del estudio.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el modelo más apropiado de los tres modelos utilizados fue el modelo GGE Biplot, debido a que logra una explicación adecuada (75 %) en la variación de la interacción en rendimiento de grano, es un modelo mucho más completo que los dos modelos AMMI utilizados, porque no tiene sesgo ambiental, considera el efecto de los genotipos más la interacción genotipo x ambiente; y además determina el potencial de rendimiento de grano de los genotipos; así también, el gráfico biplot generado a través de este modelo, permitió realizar una fácil agrupación de los genotipos de acuerdo a su área de adaptación (Yan y Kang, 2003).

La importancia de los resultados obtenidos en el presente trabajo, reflejan el potencial genético que representan las poblaciones en el estudio, para un comportamiento agronómico aceptable, dando la pauta para iniciar un programa de conservación y mejoramiento genético, para mejorar la productividad en el área de estudio. Hallauer y Miranda (1981) mencionan que el mejoramiento genético de poblaciones permite generar variedades mejoradas de polinización libre, recomendables para los agricultores que no cuentan con los recursos para adquirir semilla híbrida cada año.

## V. CONCLUSIONES

- Se encontraron cinco poblaciones nativas de maíz, tres de la raza Tuxpeño (38\_T, 52\_T y 54\_T) y dos de la raza Ratón (13\_R y 40\_R), con rendimientos similares a los mejores testigos mejorados.
- Además de la adaptación específica de las poblaciones a las localidades contrastantes del sureste de Coahuila, se identificaron cuatro poblaciones con buen potencial de rendimiento y estables a través de ambientes: dos Cónico Norteño (28\_CN y 27\_CN), una de Tuxpeño Norteño (59\_TN) y otra de Ratón (56\_R).
- Se identificaron tres poblaciones de la raza Tuxpeño (52\_T, 54\_T y 55\_T), una de Elotes Occidentales (33\_EO) y otra de Ratón (35\_R) con adaptación a áreas intermedias, con buen potencial en valles altos.
- Dos poblaciones de la raza Elotes Cónicos (4\_EC y 17\_EC) y dos de la raza Cónico Norteño (48\_CN y 7\_CN) de valles altos, prosperan satisfactoriamente en la localidad intermedia.

- El modelo que resultó ser el más apropiado para el estudio de la interacción genotipo x ambiente de la variación del rendimiento de grano, fue el modelo GGE Biplot.

## VI. LITERATURA CITADA

- Andrade F., H., A. G. Cirilo, S. Uhart y M. E. Otegui. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial La Barrosa y Dekalb Press. Buenos Aires, Argentina. 292 p.
- Babić V., M. Babić and N. Delić. 2006. Stability parameters of commercial maize (*Zea mays L.*) hybrids. *Genetika*. 38 (3): 235-240.
- Barreto, H. J., G. O. Edmeades, S. C. Chapman, J. Crossa. 1997. The alpha lattice design in plant breeding and agronomy: Generation and analysis. *In*: G. O. Edmeades, M. Bänzinger, H. R. Mickelson, and C. B. Peña-Valdivia (eds.). Developing Drought and Low N-Tolerant Maize. Proceedings of a Symposium. March 25-29, 1996. CIMMYT, El Batán, México. México, D. F. pp: 544-551.
- Bellon M., R. and J. Berthaud. 2004. Transgenic maize and the evolution of landrace diversity in Mexico. The importance of farmers' behavior. *Plant physiology*. 134: 883-888.
- Burgueño J., J. Crossa and M. Vargas. 2002. SAS Programs for graphing GE and GGE biplots. Biometrics and Statistics Unit, CIMMYT, México. 21 p.
- Carballoso T., V., A. Mejía C., S. Balderrama C., A. Carballo C. y F. V. González C. 2000. Divergencia en poblaciones de maíz nativas de Valles Altos de México. *Agrociencia*. 34 (2): 167-174.
- Clawson, D. L. 1985. Harvest security and intraspecific diversity in traditional tropical agriculture. *Economic Botany*. 39 (1): 56-67.

- Castro N., S., C. A. Reyes M. y A. J. Huerta. 2014. Diversidad genética de características del área foliar en maíces nativos de Tamaulipas bajo altas temperaturas. *Rev. Fitotec. Mex.* 37 (3): 217-223.
- Cervantes S., T., M. M. Goodman, E. Casas y J. O. Rawlings. 1978. Use genetics effects and genotype by environment interactions for the classification of mexican races of maize. *Genetics.* 90:339-348.
- COFUPRO. 2014. Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas. (Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce A. C.). Disponible en línea <http://clima.inifap.gob.mx/redclima/> (Verificado agosto de 2014).
- Crossa, J. 1990. Statistical analysis of multilocation trials. *Advances in Agronomy.* 44: 55-85.
- Chrispeels J., M. y D. E. Sadava. 2003. *Plants, genes and crop biotechnology.* 2nd (ed.). Jones and Bartlett Publishers. USA. 211 p.
- García Z., J., J. Molina G., J. López R. 2002. La selección masal como método para obtener líneas de alta aptitud combinatoria específica en maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 25:299–304.
- González C., M. E., N. Palacios R., A. Espinoza B. y C. A. Bedoya S. 2013. Diversidad genética en maíces nativos mexicanos tropicales. *Rev. Fitotec. Mex.* 33 (6): 329-338.
- Hallauer A., R. y B. Miranda. 1981. *Quantitative Genetics in Maize Breeding.* Iowa State University Press. Ames, IA. 468 p.
- Hernández X., E. y G. Alanís F. 1970. Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 5 (1): 3-30.

- Hernández C., J. M. y G. Esquivel E. 2004. Rendimiento de grano y características agronómicas en germoplasma de maíz de valles altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 27 (1): 27-31.
- Herrera C., B. E., F. Castillo G., J. J. Sánchez G., R. Ortega P. y M. M. Goodman. 2000. Caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz en una región: caso la raza Chalqueño. *Rev. Fitotec. Mex.* 23: 335-354.
- Herrera C., B. E., F. Castillo G., R. Ortega P y A. Delgado A. 2013. Poblaciones superiores de la diversidad de maíz en la región oriental del Estado de México. *Rev. Fitotec. Méx.* 36 (1): 33-43.
- IRRI. 2007. CropStat for Windows Versión 7.2. (International Rice Research Institute). Metro Manila, Philippines.
- Kato Y., T. A., C. Mapes S., L. M. Mera O., J. A. Serratos H., R. A. Bye B. 2009. Origen y diversificación del maíz, una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México, D.F. 116 p.
- Márquez S., F. 2005. Consideraciones generales sobre el mejoramiento de maíces criollos. *In: Memoria de la Primera Reunión de Mejoradores de Variedades Criollas de Maíz en México.* Márquez O., L. F. (ed). Exhacienda Nazareno, Xoxocotlán, Oax. 22-23 de Sep. 2005. Centro Regional Universitario Sur, Universidad Autónoma Chapingo. Sociedad Mexicana de Fitogenética. pp: 153-162.
- Martín L., J. G., J. Ron P., J. J. Sánchez G., L. De la Cruz L., M. M. Morales R., J. A. Carrera V., A. Ortega C., V. A. Vidal M. y M. J. Guerrero H. 2008. Caracterización Agronómica y Morfológica de Maíces Nativos del Noroccidente de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31 (4): 331-340.
- Matsuoka Y., Y. Vigouroux, M. M. Goodman, J. Sánchez, E. Buckler, J. Doebley. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 99: 6080-6084.

- Nájera C., L. A., F. Rincón S., N. A. Ruiz T. y F. Castillo G. 2010. Potencial de Rendimiento de Poblaciones Criollas de Maíz en Coahuila, México. *Rev. Fitotec. Méx.* 33 (4): 31-36.
- Ortega P., R. A. 1985. Descripción de algunas razas mexicanas de maíz poco estudiadas. *In: Variedades y razas mexicanas de maíz y su evaluación en cruzamientos con líneas de clima templado como material de partida para fitomejoramiento. Traducción al español por el autor. Tesis de Ph. D. Instituto Nacional de Plantas N. I. Vavilov. Leningrado, U. R. S. S.*
- Ortega P., R. 2003. La Diversidad del maize en México. *In: Esteva, G. y C. Marielle (Coordinadores). Sin Maíz no hay País. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Culturas Populares e Indígenas, México, D. F. pp.123-154.*
- Paliwal R., L. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 376 p.
- Pecina M., J. A., M. C. Mendoza C., J. A. López S., F. Castillo G., M. Mendoza R. y J. Ortiz C. 2011. Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes constantes. *Rev. Fitotec. Méx.* 34 (2): 85-92.
- Rincón S., F., F. Castillo G. y N. A. Ruiz T. 2010. Diversidad y Distribución de los Maíces Nativos en Coahuila, México. SOMEFI. Chapingo, Méx. 116 p.
- Ruiz C., J. A., N. Duran P., J. J. Sánchez G., J. Ron P., D. R. González E., J. B. Holland y G. Medina G. 2008. Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 Mexican maize races. *Crop Science.* 48: 1502-1512.
- SAGARPA-SIAP. 2013. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Disponible en línea: [http:// www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx).

- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman y J. O. Rawlings. 1993. Appropriate characters for racial classification in maize. *Econ. Bot.* 47: 44-59.
- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman, C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54: 43-59.
- SAS Institute. 2004. SAS/STAT ® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 1521 p.
- Turrent F., A., J. I. Cortés F., A. Espinosa C., H. Mejía A. y J. A. Serratos H. 2010. ¿Es ventajosa para México la tecnología actual del maíz transgénico? *Rev. Mex. Cien. Agric.* 1:631-646.
- Yan W., A. Hunt., Q. Sheng and Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE Biplot. *Crop Science.* 40 (3): 597-605.
- Yan W., and M. S. Kang. 2003. GGE Biplot analysis. A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC Press LLC, New York. USA. 268 p.
- Yan W., and N. A. Tinker. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science.* 86: 623–645.
- Wellhausen E., J., L. M. Roberts y E. Hernández X., en colaboración con P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de Maíz en México, su Origen, Características y Distribución. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Folleto Técnico 5. México, D. F. 237 p.
- Zobel R., W., M. J. Wright and H. G. Gauch. 1988. Statistical analysis of yield data. *Agron. J.* 80: 388-393.