

Potencial genético y adaptación de poblaciones nativas de maíz del sureste de Coahuila, México

Genetic potential and adaptation of native maize populations southeast of Coahuila, Mexico



Lino César Espinosa-Tamayo^{1*}, Froylán Rincón-Sánchez²,
Norma Angélica Ruiz-Torres³, Juan Manuel Martínez-Reyna²

¹Estudiante de Maestría en Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. Buenavista, CP 25315. Saltillo, Coah., México. Tel. [844] 4110220. E. mail: linocesaret@hotmail.com (Autor responsable*). ²Departamento de Fitomejoramiento, UAAAN. ³Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas (CCDTS), UAAAN.

RESUMEN

El sureste del estado de Coahuila cuenta con una gran diversidad genética de maíces. El conocimiento de esta variación puede ser útil para el mejoramiento genético de estos cereales. 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 testigos incluidos en el estudio [Primavera-Verano 2013], se llevó a cabo en tres localidades: El Mezquite, Galeana, N. L. (1910 msnm), General Cepeda, Coah. (1457 msnm) y en Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coah. (2100 msnm). Los resultados mostraron diferencias ($P \leq 0.01$) entre localidades, genotipos y en la interacción genotipos x localidad para los caracteres evaluados. Al comparar poblaciones vs testigos, también hubo diferencias ($P \leq 0.01$) entre las poblaciones, los testigos, y en la floración masculina y el rendimiento de grano. El análisis de la interacción genotipo x ambiente permitió identificar tres grupos de genotipos según su adaptación: el primero con 29 genotipos (41.43%), con adaptación a El Mezquite; el segundo con 24 (34.29%), que se adapta a General Cepeda, y el tercero con 17 (24.28%), considerado estable a través de ambientes. Las poblaciones 38_T, 52_T, 54_T, 13_R y 40_R tuvieron rendimientos similares a los mejores testigos mejorados. Además de la adaptación específica de las poblaciones a las localidades, se identificaron cuatro poblaciones: 28_CN, 27_CN, 59_TN y 56_R con buen potencial de rendimiento y estables a través de ambientes; las poblaciones 52_T, 54_T, 55_T, 33_EO y 35_R con buen potencial de rendimiento en valles altos, y las poblaciones 4_EC, 17_EC, 48_CN y 7_CN que prosperan satisfactoriamente en la localidad intermedia.

Palabras clave: *Zea mays* L., poblaciones nativas, sureste de Coahuila, rendimiento de grano.

ABSTRACT

The southeast of the state of Coahuila has a high genetic diversity of maize. Knowledge of this genetic variation may be useful for 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 (Spring-Summer 2013), was carried out in three environments: in El Mezquite, Galeana, N. L. (1910 msnm), General Cepeda, Coah. (1457 msnm), and in Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coah. (2100 msnm). The results showed differences ($P \leq 0.01$) among locations, genotypes and the genotype x location interaction for the traits evaluated. Also, among populations, checks and the populations vs checks comparison, there were differences ($P \leq 0.01$) in male flowering and yield grain. The analysis of the genotype x environment interaction identified three genotype groups according to their adaptation: the first with 29 genotypes (41.43%) with adaptation to El Mezquite. The second group with adaptation to General Cepeda, with 24 genotypes (34.29%), and third group with 17 genotypes (24.28%), were considered stable across the two environments. The 38_T, 52_T, 54_T, 13_R and 40_R populations had similar yields to the best improved checks. Besides to specific adaptation of populations to locations, were identified four populations (28_CN, 27_CN, 59_TN and 56_R) with good yield potential and stable across environments. The 52_T, 54_T, 55_T, 33_EO and 35_R populations with good yield potential in high valleys; and 4_EC, 17_EC, 48_CN and 7_CN, populations, thrive well in the intermediate location.

Keys Words: *Zea mays* L., native populations, southeast of Coahuila, grain yield.



INTRODUCCIÓN

México es considerado centro de origen y uno de los principales centros de diversificación del maíz (Kato *et al.*, 2009), además de uno de los últimos reservorios genéticos de esta gramínea para la humanidad (Bellon y Berthaud, 2004). El maíz juega 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 a sus diversos usos, ya sea como alimento o forraje (Paliwal, 2001; Kato *et al.*, 2009).

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). Con la colecta y estudio de los maíces criollos mexicanos se busca básicamente contar con fuentes de germoplasma para mejoramiento genético, entender la agricultura mexicana de autoconsumo y sus cultivares en diferentes regiones del país (Hernández y Esquivel, 2004). La evaluación de la diversidad de 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, sólo una pequeña fracción se ha utilizado en programas de mejoramiento, y corresponden a cuatro razas: Cónico, Chalqueño, Tuxpeño y Celaya; otras, como Bolita y Cónico norteño, han tenido un uso limitado (Márquez, 2005). En el estado de Coahuila, la diversidad del maíz está conformada por siete grupos raciales: Celaya, Cónico, Cónico Norteño, Elotes Cónicos, Ratón, Tuxpeño y Tuxpeño Norteño, de los cuales Cónico Norteño (21.1%), Ratón (26.7%) y Tuxpeño Norteño (20%) son los de mayor importancia en términos de la distribución y siembra (Rincón *et al.*, 2010).

En el sureste del estado de Coahuila: Arteaga, General Cepeda, Parras, Ramos Arizpe y Saltillo, la superficie de maíz para grano que se sembró en 2013 fue de 25.98 mil ha (81.23% del total de superficie sembrada en Coahuila), de la cual 94.84% se estableció bajo condiciones de temporal o secano, y tuvo un rendimiento promedio de 0.69 t ha⁻¹ (SAGARPA-SIAP,

2013). Debido a la importancia de las siembras de temporal o secano y a la diversidad genética de maíces existentes en el sureste de Coahuila, el presente trabajo se realizó con los siguientes objetivos: determinar el comportamiento agronómico y potencial de rendimiento de 63 poblaciones de maíz y establecer el área de adaptación y potencial de selección para las condiciones en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio, que se realizó en el ciclo de Primavera-Verano 2013, se utilizó material genético de 63 poblaciones nativas de maíz adaptadas al sureste de Coahuila: Ramos Arizpe, Arteaga, Saltillo, General Cepeda y Parras, que son representativas de ocho grupos raciales (Cuadro 1).

En el estudio se incluyeron siete materiales genéticos como testigos, los cuales cuentan con variación

Cuadro 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 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). La evaluación agronómica de las 63 poblaciones y los siete testigos se llevaron a cabo en tres localidades: El Mezquite (1910 msnm; 25° 05' 22" LN; 100° 42' 31" LO) y General Cepeda (1457 msnm; 25° 23' 00.91" LN; 101° 27' 15.3" LO), bajo condiciones de riego, y en Jagüey de Ferniza (2100 msnm; 25° 14' 03.5" LN; 100° 59' 47.0" LO) bajo condiciones de temporal. Las poblaciones se establecieron en un diseño de bloques incompletos 10 × 7 con arreglo α -látice (0,1) (Barreto *et al.*, 1997), con dos repeticiones por localidad.

En General Cepeda, las dos repeticiones fueron establecidas en dos fechas de siembra. La unidad experimental constó de dos surcos de cuatro m de largo, con una distancia entre plantas de 0.2 m y entre surcos de 0.85 m en General Cepeda, y Jagüey de Ferniza, y de 0.92 m en El Mezquite. La densidad de siembra en General Cepeda y Jagüey de Ferniza fue de 58,823 plantas ha⁻¹ y en El Mezquite de 54,347 plantas 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). Las variables evaluadas en el presente estudio fueron: floración masculina (d) y rendimiento de grano, ajustado al 15% de humedad (t ha⁻¹).

Cabe mencionar que en la localidad Jagüey de Ferniza únicamente se pudo tomar la variable floración masculina, debido a la pérdida del experimento a causa de una tormenta. La evaluación agronómica se realizó mediante un análisis de varianza (SAS Institute, 2004) para probar los efectos de los genotipos y la interacción con las localidades de evaluación. En el análisis de varianza, las localidades, los genotipos y la interacción genotipos x localidades se consideraron como efectos fijos; el resto de los efectos del modelo fueron considerados aleatorios. 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 (suma de cuadrados de poblaciones, testigos, poblaciones vs testigos) y en la interacción genotipos x localidad [(poblaciones x localidad, testigos por localidad y (poblaciones vs testigos) x localidad)]. Los datos de repeticiones y localidades (MEZ1, MEZ2, GC1 y GC2) se utilizaron para realizar el análisis de la interacción genotipos x ambiente. El análisis de la interacción genotipos x

ambiente se realizó mediante el gráfico de dispersión del análisis de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI), correspondiente al modelo propuesto por Zobel *et al.* (1988).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se detectaron diferencias ($P \leq 0.01$) entre localidades, genotipos y genotipos x localidades para floración masculina y rendimiento de grano (Cuadro 2). Las diferencias detectadas entre localidades indican un efecto de las condiciones ambientales en la expresión fenotípica de estos 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, los testigos y la comparación poblaciones vs testigos, mostraron diferencias ($P \leq 0.01$) en los caracteres evaluados (Cuadro 2). Lo anterior era de esperarse, ya que las 63 poblaciones comprendidas en el estudio pertenecen a diferentes grupos raciales y a una procedencia distinta; mientras que una explicación respecto a las diferencias entre los testigos, es que éstos cuentan con variación en madurez y tipo de grano, que corresponden a diferentes ciclos vegetativos y, además, cuentan con variación en su constitución genética. Las diferencias encontradas en la comparación de poblaciones vs testigos se deben, principalmente, a los efectos de selección, ya que se están comparando las poblaciones criollas con los materiales mejorados.

Para los efectos de interacción genotipos x localidad hubo significancia ($P \leq 0.01$) en floración masculina y rendimiento de grano (Cuadro 2); en otras palabras, en los diferentes ambientes al menos uno de los genotipos presentó un comportamiento agronómico diferente en la expresión de estos caracteres. De acuerdo con la descomposición de suma de cuadrados de genotipos x localidad, las diferencias en rendimiento de grano se deben a las diferencias encontradas en la interacción de las poblaciones x localidad (Cuadro 2). Las diferencias ($P \leq 0.01$) detectadas en la interacción poblaciones x localidad en floración masculina, indican 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

Cuadro 2. Análisis de varianza (cuadrados medios) para cuatro variables de nutricionales de 44 genotipos de tomate *Solanum lycopersicum* L. en Buenavista, Saltillo, Coahuila. 2014.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Floración masculina (d)	Grados de libertad	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)
Localidades (Loc)	2	29,136.20 **	1	644.94 **
Repeticiones (Rep)/Loc	3	369.74 **	2	114.73 **
Bloques/Loc x Rep	36	12.71 **	24	1.78
Genotipos (Gen)	69	345.66 **	69	5.64 **
Poblaciones (Pob)	62	325.30 **	62	4.66 **
Testigos (Tes)	6	494.50 **	6	11.05 **
Pob vs Tes	1	429.34 **	1	26.29 **
Gen x Loc	138	23.08 **	69	3.10 **
Pob x Loc	124	22.36 **	62	3.24 **
Tes x Loc	12	21.19 **	6	1.30
(Pob vs Tes) x Loc	2	67.56 **	1	4.82
Error	171	6.21	114	1.81
CV (%)		2.93		22.31

**= Significativo al 0.01 de probabilidad; CV (%) = Coeficiente de variación.

se acelera, mientras que a temperaturas menores de 15°C, el espigamiento se retrasa. En la interacción testigos x localidad únicamente se encontraron diferencias ($P \leq 0.01$) en floración masculina (Cuadro 2), lo cual se explica porque, en la evaluación, los testigos fueron sometidos a programas de mejoramiento genético para diferentes áreas ecológicas.

Con base en el rendimiento de grano a través de ambientes (GC1, GC2, MEZ1 y MEZ2), se identificaron a las mejores 25 poblaciones, en referencia a los siete testigos (Cuadro 3). 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 3). En un ensayo de evaluación de materiales nativos de Coahuila, Nájera *et al.* (2010) también identificaron a las razas ratón, tuxpeño y tuxpeño norteño como las de mayor potencial de rendimiento. Diecinueve de las poblaciones evaluadas (30.1%) mostraron un potencial de rendimiento superior a

través de los ambientes de evaluación, de acuerdo con el criterio ($\mu + 2$ 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).

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 lo correspondiente a la madurez (floración masculina) que presentaron las 25 poblaciones con mayor rendimiento de grano, doce de éstas fueron también las más tardías dentro de los cuatro ambientes de evaluación (Cuadro 3). En el Cuadro 3 se puede notar que los cuatro ambientes en las localidades General Cepeda y El Mezquite 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: JAGUAN, POBAM y VAN210 fueron los más precoces y los que presentaron el menor rendimiento de grano (Cuadro 3).

Cuadro 3. Medias de rendimiento de grano y floración masculina de las 25 poblaciones superiores y los testigos en la evaluación agronómica, en 2013.

Población†	Promedio	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)				Floración masculina (d)			
		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
Testigos									
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
Media	6.03	3.50	5.53	8.33	6.77	68.21	68.60	90.74	96.33
EE	0.22	0.24	0.23	0.23	0.18	0.69	0.63	1.04	1.16
Máximo	8.60	8.38	10.18	13.41	10.84	83.0	81.0	108.0	116.0
Mínimo	4.22	0.77	1.53	4.43	2.55	56.0	57.0	76.0	81.0

* GC1 y GC2 = General Cepeda rep 1 y 2; MEZ1 y MEZ2 = Mezquite rep 1 y 2; * = Valores superiores a la $\mu + 2$ veces el error estándar; EE= Error estándar; † 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.

Interacción de genotipos por ambiente

El modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (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). Según este modelo, 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.

En este análisis, el componente principal uno (CP1) y los efectos principales lograron una explicación de 87.1% respecto al rendimiento, que corresponde al 73.8% del fenotipo y 13.4% de la variación del primer componente principal de la interacción genotipo x ambiente. De esta manera se pueden identificar los genotipos con mayor rendimiento promedio y los de menor rendimiento promedio, lo mismo que el grupo de genotipos con adaptación a El Mezquite y el grupo de genotipos con adaptación a General Cepeda.

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, se usó como criterio de rango $-0.35 \leq 0 \leq 0.35$ del CP1 (Yan y Tinker, 2006). Los genotipos con mayor rendimiento se obtuvieron en la localidad El Mezquite, luego en la de General Cepeda 2 y, finalmente, en la de General Cepeda. 1.

De acuerdo con los tres grupos de genotipos, del primero se adaptaron 29 a El Mezquite, que representan 41.43%; del segundo 24 a General Cepeda, que representa 34.29% y del tercero 17, los cuales fueron considerados como estables en las dos localidades y representan 24.28%.

Por otro lado, en la localidad El Mezquite, las razas predominantes fueron: Cónico Norteño (44.83%) y Ratón (17.24%). Según lo anterior, Wellhausen *et al.* (1951) mencionan que el maíz Cónico Norteño se ha encontrado cultivado de 1,600 a 2100 msnm, aun cuando se adapta mejor a los lugares de esa zona cuya altura varía de 1800 a 2000 msnm, como es el caso de El Mezquite (1910 msnm).

Las razas predominantes en General Cepeda fueron: Ratón con 37.5 %, Cónico Norteño y Tuxpeño con un 12.50 %, respectivamente. 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, localidad que está ubicada a 1457 msnm, por

lo cual representan una alternativa para la incursión de nuevos materiales en esta 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. En lo que respecta a rendimiento de grano (Cuadro 3) en cada localidad, las poblaciones con mayor rendimiento en El Mezquite, fueron: las poblaciones 52, 54 (Tuxpeño) y 18 (Tuxpeño Norteño). 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 y se adaptó a El Mezquite, por lo que es una población potencial para los agricultores de esta localidad.

Además, es importante señalar el comportamiento de las poblaciones 55_T, 35_R y 32_C con adaptación a áreas intermedias en la localidad de El Mezquite, las cuales pueden ser una alternativa para el mejoramiento genético. En sentido contrario, las poblaciones 38, 49 (Tuxpeño), 34 (Tuxpeño Norteño) y 17 (Elotes Cónicos) tuvieron el mayor rendimiento en General Cepeda. Destaca en este grupo la población 17 (elotes cónicos), la cual es una raza de valles altos, ya 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). Según Babić *et al.* (2006), con el fin de reducir el efecto de la interacción genotipo por ambiente, tanto la estabilidad como el rendimiento pueden ser considerados simultáneamente para el mejoramiento genético, y en base a ello seleccionar genotipos con mayores rendimientos, que respondan bien a los cambios de los efectos ambientales.

Por otra parte, en lo que respecta a los testigos, se identificaron cuatro genotipos que se adaptaron a General Cepeda: POBAM, POOL31, 6221 y 6221 la variedad JAGUAN que se adapta a la localidad El Mezquite, y la variedad VAN210 y el POOL3, como genotipos de alto y bajo rendimiento a través de los ambientes de evaluación. La importancia de los resultados obtenidos en el presente trabajo refleja el potencial genético que representan las poblaciones para un comportamiento agronómico aceptable, lo que da 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.

CONCLUSIONES

Se encontraron cinco poblaciones nativas de maíz: tres de la raza Tuxpeño (38_T, 52_T y 54_T) y dos de 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 y buen potencial en valles altos.

Dos poblaciones de la raza Elotes Cónicos (4_EC y 17_EC) y dos de la Cónico Norteño (48_CN y 7_CN) de valles altos, prosperan satisfactoriamente en la localidad intermedia.

LITERATURA CITADA

- ANDRADE, F. H., A. G. Cirilo, S. Uhart y M. E. Otegui. 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Buenos Aires, La Barrosa y Dekalb Press. 292 pp.
- 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. México, CIMMYT, El Batán, 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.
- CLAWSON, D. L. 1985. Harvest security and intraspecific diversity in traditional tropical agriculture. *Economic Botany*. 39(1): 56-67.
- 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 pp.
- 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.
- 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, 116 pp.
- 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 septiembre, 2005. Centro Regional Universitario Sur, Universidad Autónoma Chapingo. Sociedad Mexicana de Fitogenética, pp. 153-162.
- 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, URSS.
- 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 pp.
- 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.
- 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)
- SAS Institute. 2004. SAS/STAT ® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 1521 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.