

ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DE LOS MAÍCES NATIVOS DE COAHUILA, MÉXICO

LUIS ALBERTO NÁJERA CALVO

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
FITOMEJORAMIENTO**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DE LOS MAÍCES NATIVOS DE
COAHUILA, MÉXICO**

TESIS

POR

LUIS ALBERTO NÁJERA CALVO

**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. Fernando Castillo González

**Dr. Fernando Ruíz Zárate
Subdirector de Postgrado**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Noviembre de 2010.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por haberme dado el regalo más grande “la vida” y permitirme ser lo que ahora soy.

A mi Comité Particular de Asesoría, integrado por el **Dr. Froylán Rincón Sánchez, Dra. Norma A. Ruíz Torres y el Dr. Fernando Castillo González**, agradezco la oportunidad que me brindaron de realizar el presente trabajo, sus atenciones, por su valioso tiempo y algo más importante su “amistad”.

A la **Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”** por permitirme realizar una etapa más de mi formación profesional, a través del Departamento de Fitomejoramiento.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**), por el apoyo económico brindado durante mis estudios de Postgrado.

A la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (**SAGARPA**) y al Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (**SNICS**) por el financiamiento del proyecto de investigación a través del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (**SINAREFI**).

A **todo el plantel de docentes** de la Maestría en Ciencias en Fitomejoramiento, por todos sus conocimientos, consejos y ayuda a mi formación profesional.

Al **M. C. Daniel Sámano Garduño**, por todos sus consejos, el apoyo brindado durante toda mi etapa de formación y por su amistad.

A la **M. C. Felipa Morales Luna**. Por sus consejos, apoyo y amistad brindada durante todo este tiempo.

A la **Lic. Sandra López Betancourt** a quien le estoy profundamente agradecido por su disposición y ayuda en la revisión del formato del presente trabajo y por su amistad.

A **Norma Leticia González Hernández** a quien también le estoy profundamente agradecido por sus atenciones, apoyo durante mi estancia en el postgrado y por su amistad.

A la **T. A. Norma Leticia Portos Gaona**, por su ayuda y consejos brindados durante la realización de mis prácticas de citogenética y sobre todo por su amistad.

A **mis compañeros de generación y todos los que conforman el postgrado en Fitomejoramiento, así como amigos de diferentes especialidades** por su amistad y los gratos momentos que pasamos juntos.

DEDICATORIA

A **DIOS Padre Celestial**, gracias por regalarme la vida, el pan de cada día, por haberme permitido terminar una etapa más en mis estudios y haberme guiado por el camino de la luz, permíteme Señor ofrecerte este trabajo y con tu ayuda poder ayudar a los que más lo necesitan.

A mis padres y hermanos: **José Humberto Nájera Solórzano y Guillermina Calvo Hernández. José Armando, Dalia Carolina y Nayver de Jesús.** Por su amor, cariño, comprensión, por sus sabios consejos y la confianza que pusieron en mí, y que con sacrificio y lucha me apoyaron a culminar una más de mis metas en la vida, gracias por hacer de mí una persona de bien, los quiero mucho y siempre los llevo en mi corazón.

A mi novia: **Adriana Lázaro Carlo.** Este trabajo te lo dedico con todo el corazón y al mismo tiempo quiero agradecerte por todo el cariño, comprensión y el apoyo que me has brindado y sobre todo por tu amor.

A mis abuelitos **José Nájera Guillen, Mercedes Solórzano Méndez, Julia del Carmen Hernández Hernández y Rogelio Calvo Gómez.** Así como a todos mis tíos, primos y sobrinos. Por compartir la vida conmigo, por todo el cariño, por sus consejos, por su apoyo que siempre me han brindado y por formar parte de mi vida, los quiero mucho y los llevo en mi corazón y le doy gracias a Dios por regalarme una gran familia.

Al Sr. **Daniel Guillermo Díaz, Sra. Juanita Olivo y toda su familia.** Por sus consejos, apoyo y sobre todo por su amistad desinteresada. Que Dios los bendiga siempre.

A la familia **Lázaro Carlo**, por sus consejos, por considerarme como parte de su familia y por su amistad desinteresada.

A todas mis amigas y amigos, en especial: **Marta de Jesús, Raquel, María de la Luz, Aída, Karina, Miriam, Guille, Chuy, Héctor, José Luis, Homero, Luis David, Efraín, Hugo, Richard, Mirsain, Efrén y Delmar**. A todos gracias por su amistad.

A **los Misioneros Cooperadores del Sagrado Corazón de Jesús y Santa María de Guadalupe y al coro de San Francisco**. Por apoyarme de una forma directa e indirecta en mi formación profesional, a todos gracias por su apoyo y consejos, para ustedes con gran admiración y respeto muchas gracias.

A **los pobres del mundo**, que no son precisamente los que no tienen nada, sino los que saben dar a cada cosa su valor.

COMPENDIO

**ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DE LOS MAÍCES NATIVOS DE
COAHUILA, MÉXICO**

POR

LUIS ALBERTO NÁJERA CALVO

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN
FITOMEJORAMIENTO**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. NOVIEMBRE-2010

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

Palabras clave: *Zea mays* L., evaluación de germoplasma, diversidad genética de maíz, poblaciones nativas.

Se han hecho colectas de los maíces nativos en la mayor parte de las regiones de México. En el Estado de Coahuila se ha reportado la presencia de las razas de maíz: Cónico Norteño, Tuxpeño, Ratón y Tuxpeño Norteño, entre otras. En 2008 se realizó una exploración de colecta de maíces nativos en el Estado de Coahuila, en la que se obtuvo 90 poblaciones de maíz

en altitudes de los 248 a 2557 m, y de acuerdo a la clasificación preliminar se identificó a siete razas. Los objetivos del presente trabajo fueron evaluar agronómicamente y determinar el potencial de rendimiento de 90 poblaciones de maíces nativos recolectadas en Coahuila y obtener la caracterización morfológica y el estudio de las interrelaciones entre grupos raciales en los maíces de Coahuila. La evaluación agronómica fue realizada en dos años (2008 y 2009) en dos localidades: El Mezquite, Galeana, N. L. (1890 m) y General Cepeda, Coah. (1350 m). Las poblaciones fueron agrupadas de acuerdo con la altitud de procedencia en: bajas (0 – 1000), intermedias (1001 – 1800), transición (1801 – 2000) y de altura (Mayor a 2000 m). Los resultados del análisis de la evaluación agronómica mostraron diferencias ($P \leq 0.01$) entre Grupos y la interacción Grupos \times Ambientes para todos los caracteres evaluados, excepto asincronía de floración y altura de planta; también las Poblaciones dentro de Grupos mostraron diferencia ($P \leq 0.01$) para la mayoría de los caracteres, excepto en mala cobertura donde la diferencia fue al 0.05 de probabilidad. El análisis de la interacción Poblaciones \times Ambientes permitió identificar tres grupos de acuerdo con su adaptación: El primero, con adaptación a El Mezquite (33.4 %), el segundo a la localidad de General Cepeda (42.2 %), así como a un tercer grupo (24.4 %) con estabilidad a través de los ambientes. Los grupos raciales con mayor potencial de rendimiento fueron Tuxpeño Norteño, Ratón, Tuxpeño y algunas combinaciones raciales como: Tuxpeño Norteño con Ratón y Celaya, Ratón \times Olotillo y Tuxpeño Norteño, y Tuxpeño \times Celaya. En los resultados del análisis de la descripción morfológica, se encontró diferencia ($P \leq 0.01$) en los ambientes para todas las

variables, excepto porcentaje de desgrane y las relaciones: ancho/longitud de grano y espesor/longitud de grano. Con respecto a las Entradas (poblaciones) y la interacción Poblaciones \times Ambientes en todas las variables se encontró diferencia ($P \leq 0.01$). Se identificaron 16 caracteres que fueron utilizados en los análisis de clasificación. El análisis de la diversidad de las poblaciones evaluadas se exploró mediante el análisis de componentes principales y de clasificación numérica, lo que sugiere que los patrones de diversidad existentes entre las poblaciones evaluadas parecen estar determinados por variación en caracteres vegetativos de la planta, espiga, mazorca y grano. El análisis de dispersión y clasificación numérica de las 90 poblaciones de maíz definieron dos grandes complejos en base a la forma de mazorca: Cónico representado por las razas Cónico Norteño y Elotes Cónicos (Transición-Altura) y Cilíndrico representado por las razas Ratón, Tuxpeño y Tuxpeño Norteño (alturas Bajas-Intermedias). Se encontró un continuo de variación entre y dentro de grupos raciales determinados por las combinaciones y formas intermedias entre ellos. En el análisis de la diversidad del maíz se pueden identificar cuatro etapas: 1) la clasificación visual al momento de la colecta, 2) la evaluación y análisis de las interrelaciones entre grupos raciales, 3) el enfoque de la clasificación numérica de la diversidad del maíz y 4) el análisis de los grupos taxonómicos y sus interrelaciones. Los caracteres morfológicos apropiados para el estudio de la diversidad genética de los maíces de Coahuila son: Altura de planta, número de hojas arriba de la mazorca, longitud de hoja, índice de área foliar, número de ramificaciones de la espiga, número de hileras en la mazorca, número de granos por hilera, diámetro de mazorca, ancho de grano, espesor de grano,

diámetro de olote, porcentaje de desgrane, la relación altura de planta/altura de mazorca, diámetro de olote/diámetro de mazorca, ancho/longitud de grano y espesor/ancho de grano.

ABSTRACT

STUDY OF GENETIC DIVERSITY OF NATIVE MAIZE OF COAHUILA, MÉXICO

By

LUIS ALBERTO NÁJERA CALVO

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN
FITOMEJORAMIENTO**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. NOVIEMBRE-2010

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

Keys Words: *Zea mays* L., germplasm evaluation, genetic diversity of maize, native populations.

Native maize populations have been collected in most regions of Mexico. In the state of Coahuila it has been reported presence of the races of maize: Conico Norteño, Tuxpeño, Raton and Tuxpeño Norteño, among others. A maize exploration and collecting was carried out in the State of Coahuila in 2008 where

90 maize populations were obtained from altitudes between 248 to 2557 m, and according to the preliminary classification, based on visual appreciation and comparison to race description, seven races were identified. The objectives of the research work were: to evaluate agronomically and to determine the grain yield potential of the 90 maize populations collected from Coahuila, and to carry out the morphological characterization and to assess relationships among racial groups in maize of Coahuila. The agronomic evaluation was carried out for two years (2008 and 2009) at two locations: El Mezquite, Galeana, N. L. (1890 m) and General Cepeda, Coah. (1350 m). Populations were grouped according to altitude of provenance: low (0-1000), intermediate (1001-1800), transition (1801-2000) and high (Greater to 2000 m). Agronomic evaluation showed differences ($P \leq 0.01$) between Groups and significance of Groups \times Environment interactions for all traits, except flowering asynchrony and plant height; also populations within groups showed significant differences ($P \leq 0.01$) for most traits, except bad ear coverage, where the difference was at 0.05 probability. Based on the adaptation, the Populations \times Environment interaction analysis identified three groups: first, those with adaptation to El Mezquite (33.4 %), the second adapted to location of General Cepeda (42.2 %), and a third group (24.4%) with stability across environments. Racial groups with higher yield potential were Tuxpeño Norteño, Raton, Tuxpeño and some racial combinations as: Tuxpeño Norteño with Raton and Celaya, Raton \times Olotillo and Tuxpeño Norteño, and Tuxpeño \times Celaya. Morphological diversity analysis, showed differences ($P \leq 0.01$) among environments for all variables, except for shelling percentage and ratios: width/length kernel and thickness/length kernel. With

respect to entries (populations) and the Populations × Environments interaction there was significance ($P \leq 0.01$) for all traits. A set of 16 characters were identified and used in the classification analysis. Diversity of tested populations were explored using principal component analysis and numerical classification, which suggests that patterns of diversity among the evaluated populations appears to be determined by variation of vegetative traits, as well as those of tassel, ear and kernel. Dispersion analysis and numerical classification of the 90 maize populations identified two large groups based on ear shape: Conico represented by the races Conico Norteño and Elotes Conicos (Transition-high altitude) and Cilindrico represented by the races Raton, Tuxpeño y Tuxpeño Norteño (Low-Intermediate altitude). A continuous variation pattern between and within racial groups was found, determined by the combinations and intermediate forms between them. In the analysis of the maize diversity, can be identified four stages: 1) the visual classification at the collecting time, 2) the evaluation and analysis of the relationships among racial groups, 3) the numerical classification approach of maize diversity and 4) the analysis of taxonomic groups and their relationships. The morphological characters appropriate for studying the genetic diversity of maize in Coahuila are: plant height, number of leaves above the ear, leaf length, leaf area index, number of branches of the tassel, number of rows in the ear, number of kernels per row, ear diameter, grain width, grain thickness, cob diameter, shelling porcentaje, the ratio plant height/ear height, diameter of cob/ear diameter, width/length grain and thickness/width of grain.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	4
Hipótesis	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
Importancia del maíz en México	5
Variabilidad del maíz en México y su clasificación racial.....	6
Potencial genético y aprovechamiento de la diversidad del maíz..	9
Descripción de las razas.....	11
Elotes Cónicos	11
Olotillo	12
Tuxpeño	12
Celaya	13
Cónico Norteño	13
Ratón	14
Tuxpeño Norteño	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	16
Material genético	16
Ubicación del sitio experimental.....	17

Diseño experimental	17
Siembra	18
Fertilización	18
Riegos.....	18
Labores culturales.....	19
Caracteres evaluados.....	19
Análisis de la información agronómica.....	26
Análisis de la información de caracteres para descripción morfológica	27
Selección de caracteres para clasificación.....	28
Análisis de dispersión y clasificación ..	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
Evaluación agronómica de 90 poblaciones de maíz	31
Interacción de los Grupos × Ambientes para rendimiento de grano.....	36
Interacción de las Poblaciones × Ambientes de evaluación.....	38
Potencial de rendimiento de las poblaciones evaluadas.....	40
Descripción morfológica.....	43
Selección de caracteres para clasificación.....	45
Análisis de dispersión de la diversidad de poblaciones.....	47
Análisis de conglomerados.....	50
V. CONCLUSIONES	59
VI. LITERATURA CITADA	61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
3.1	Clasificación de poblaciones colectadas de maíz en razas y en base a la altitud del sitio de colecta y frecuencias, Coahuila, México.....	16
3.2	Localización geográfica y condiciones agroecológicas de las localidades utilizadas en el estudio.....	17
4.1	Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de los ambientes de evaluación, para variables agronómicas. El Mezquite, N. L. y General Cepeda, Coah. 2008 y 2009.....	32
4.2	Comparación de medias de ambientes de evaluación para variables agronómicas. El Mezquite, N. L. y General Cepeda, Coah. 2008 y 2009.....	33
4.3	Comparación de medias de grupos por procedencia altitudinal para variables agronómicas a través de localidades de evaluación. El Mezquite, N. L. y General Cepeda, Coah. 2008 y 2009.....	34
4.4	Medias de rendimiento de grano y floración masculina de las poblaciones de maíz con mayor rendimiento a través de ambientes de evaluación El Mezquite, N. L. y General Cepeda, Coah. 2008 y 2009.....	41
4.5	Pruebas de significancia de las variables de la descripción morfológica a través de ambientes de evaluación, durante 2008 y 2009.....	44
4.6	Estimadores de componentes de varianza para colectas (σ_c^2), ambientes (σ_a^2), interacción colectas \times ambientes (σ_{cxa}^2) y repetibilidad [$r = \sigma_c^2 / (\sigma_a^2 + \sigma_{cxa}^2)$], de 31 variables en 90 colectas de maíz.....	46

4.7	Valores y vectores característicos asociados a los cuatro primeros componentes principales del análisis de 16 variables para la descripción morfológica.....	48
4.8	Promedios para 16 caracteres, de siete grupos identificados en 90 colectas de maíz, en base al análisis de conglomerados.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
4.1	Interacción Ambientes × Grupos para rendimiento de grano. GC08 = General Cepeda 2008, GC09 = General Cepeda 2009, MEZ08 = Mezquite 2008 y MEZ09 =Mezquite 2009.....	37
4.2	Interacción Poblaciones × Ambientes de evaluación con base en el rendimiento de grano de 90 poblaciones de maíz evaluadas en dos localidades de Coahuila, México, durante 2008 y 2009 (MZ08, MZ09, GC08 y GC09). Las letras en los puntos correspondientes a las poblaciones indican el grupo racial y el número de la población. C = Celaya; CN = Cónico Norteño; EC = Elotes Cónicos; O = Olotillo; R = Ratón; T = Tuxpeño; TN = Tuxpeño Norteño..	39
4.3	Dispersión de 90 poblaciones de maíz conformadas por siete grupos raciales, en base a los dos primeros componentes principales del análisis de variables morfológicas.....	49
4.4	Dendograma de 90 poblaciones de maíz conformadas por siete grupos raciales, utilizando el complemento del coeficiente de correlación y el método de agrupamiento por pares usando promedios aritméticos (UPGMA).....	51
4.5	Dispersión de 90 poblaciones de maíz conformadas por siete grupos raciales, en base al análisis de conglomerados utilizando el complemento del coeficiente de correlación y el método de agrupamiento por pares usando promedios aritméticos (UPGMA).....	57

I. INTRODUCCIÓN

En México, el maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo agrícola más importante desde el punto de vista alimentario, industrial y social (SAGARPA-SIAP, 2007), y al ser originario y domesticado en México, es aquí donde se encuentra la mayor riqueza genética documentada en los complejos raciales (Wellhausen *et al.*, 1951).

La variación genética está estrechamente relacionada con las condiciones agroecológicas de producción, ya que se cultiva en todos los estados en una amplia gama de condiciones climáticas; así como con la diversidad de usos que se le da al maíz, especialmente al grano (Sánchez *et al.*, 2000a; Hernández y Esquivel, 2004).

El conocimiento de la variación morfológica y genética, su relación con el ambiente y el impacto social determinan la estrategia de conservación y aprovechamiento de la diversidad genética del maíz (Ortega *et al.*, 1991). La variación genética permite integrar poblaciones de amplia base genética, las cuales pueden ser útiles como material base en los programas de mejoramiento genético para incrementar el rendimiento y procurar los niveles apropiados de caracteres agronómicos de mayor relevancia, en el proceso de generación de

variedades mejoradas (sintéticos o híbridos) (García *et al.*, 2002). Sin embargo, el aprovechamiento de la diversidad o variación genética de maíz en programas formales de mejoramiento genético es muy limitado, pues de las 50 razas de maíz descritas se utilizan de manera clara solamente cuatro: Chalqueño, para la Mesa Central, Tuxpeño en el Trópico seco y húmedo, Cónico Norteño para zonas con problemas pluviales de la Mesa Central, y Celaya para El Bajío y zonas similares (Márquez, 2005).

La preocupación por la pérdida de la diversidad ha dado lugar a investigaciones destinadas a describir y comprender los factores que influyen en la dinámica de la diversidad del maíz manejada por los agricultores mexicanos (Aguirre *et al.*, 1998).

La recolección y estudio de los maíces criollos mexicanos han sido motivados por diversas causas: contar con fuentes de germoplasma para los programas de mejoramiento genético, entender la agricultura mexicana de autoconsumo, realizar estudios biológicos básicos para entender el proceso evolutivo, para realizar evaluaciones preliminares y aplicar técnicas de premejoramiento (Hernández y Esquivel, 2004).

Históricamente, se han realizado colectas de maíces nativos en la mayor parte de las regiones importantes de México (Wellhausen *et al.*, 1951). Posteriormente, en los años 1960's y 1970's se realizaron exploraciones de colecta en la mayor parte del país. El estado de Coahuila fue explorado en

ambas épocas y en base a la información de los catálogos en los bancos de germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) más otros trabajos adicionales, se documenta la presencia de por lo menos cuatro grupos raciales en Coahuila: Cónico Norteño, Tuxpeño, Ratón y Tuxpeño Norteño.

En 2008, se realizó una nueva exploración de colecta en lo que se recorriera la mayor parte de los municipios del estado de Coahuila; se conjuntaron 90 poblaciones de agricultores que se clasificaron en base a la clasificación visual y comparación con la descripción racial de Wellhausen *et al.* (1951), Ortega (1985), donde se encontró la presencia de poblaciones de las razas Celaya, Cónico Norteño, Elotes Cónicos, Olotillo, Ratón, Tuxpeño y Tuxpeño Norteño (Rincón *et al.*, 2010a). Dado que cada población se representó con una muestra de 30 mazorcas, se tuvo la posibilidad de medir las dimensiones de 10 mazorcas, sus olotes y sus granos, en lo que se pudo hacer una valoración numérica de la diversidad genética del conjunto de poblaciones conjuntadas (Rincón *et al.*, 2010b). Con la advertencia que al provenir las mazorcas del campo de cultivo de cada agricultor, se tiene en este análisis la confusión de algunos efectos ambientales y de interacción genotipo x ambiente. No obstante, el análisis que es ilustrativo para diferenciar a los tipos de maíz de manera cuantitativa, además de mostrar la naturaleza entera de la diversidad en dos complejos.

En este trabajo se planteó realizar un estudio más formal desde el punto de vista morfo-agronómico estableciendo pruebas experimentales de las 90 poblaciones colectadas en Coahuila en 2008, todas bajo mismas condiciones ambientales, para tomar información sobre atributos vegetativos, fenológicos, caracteres de espiga, mazorca y grano como estructuras reproductivas y considerar la información de manera integral para analizar la diversidad genética del maíz en el estado de Coahuila.

Objetivos

- 1) Evaluar agronómicamente y determinar el potencial de rendimiento de 90 poblaciones de maíces nativos recolectadas en Coahuila.
- 2) Obtener la caracterización morfológica y el estudio de las interrelaciones entre grupos raciales en los maíces de Coahuila.

Hipótesis

- 1) En la evaluación de las 90 colectas es posible identificar poblaciones sobresalientes con características agronómicas deseables.
- 2) La descripción morfológica permite estudiar las relaciones y la diversidad genética de los maíces de Coahuila.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del maíz en México

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal básico en la alimentación en México y donde se encuentra una de las mayores riquezas en cuanto a diversidad genética de esta planta (Ortega *et al.*, 1991; Hernández y Esquivel, 2004).

El maíz se produce en dos ciclos productivos: Primavera-Verano y Otoño-Invierno, bajo las más diversas condiciones agroclimáticas de humedad (temporal y riego). A nivel nacional, la superficie sembrada promedio anual durante el periodo 1994-2008 fue de 8.4 millones de ha. Por lo que se refiere a la modalidad hídrica, el 84.5 % se cultiva en superficie de temporal, proporción que representa 7.1 millones de ha promedio anual; mientras que un millón 309 mil ha se siembran bajo condiciones de riego (15.5 %) (SAGARPA-SIAP, 2010).

Variabilidad del maíz en México y su clasificación racial

México es una de las áreas donde se encuentra la mayor diversidad genética de maíz (Wellhausen *et al.*, 1951). La variabilidad genética del maíz se debe a los mecanismos que operan en las poblaciones en el proceso evolutivo, tanto de manera espontánea como bajo domesticación. Esta diversidad se puede también atribuir 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 (Caraballoso *et al.*, 2000).

Gran parte de la diversidad genética del maíz nativo de México, aún se puede encontrar en los campos agrícolas en forma de variedades criollas en su centro de origen y diversidad o en manos de los productores que la han conservado de sus cosechas por generaciones (Herrera *et al.*, 2000; Castillo *et al.*, 2000).

La variabilidad del maíz en México ha sido el centro de atención de diversos estudios en un intento por describir la variación genética de poblaciones de maíz (Sánchez *et al.*, 2000a).

Debido a la necesidad de contar con material genético para los programas de mejoramiento, la Oficina de Estudios Especiales y la Secretaría de Agricultura y Ganadería, en 1943 aceleraron los trabajos de colecta y estudio de

los maíces nativos, lo que dio lugar a la primera clasificación de los maíces mexicanos plasmada en la obra de Wellhausen *et al.* (1951): "Razas de maíz en México". En esta obra se consideraron las características morfológicas de la mazorca, de la espiga y de la planta, así como las características genéticas, citológicas, fisiológicas y agronómicas, la distribución geográfica y la genealogía.

Después, Hernández y Alanís (1970) colectaron y estudiaron los maíces de la Sierra Madre Occidental de México. El estudio morfológico correspondiente determinó la presencia de cinco razas nuevas: Gordo, Azul, Apachito, Bofo y Tablilla de Ocho.

Ortega y Sánchez (1989) al estudiar la diversidad de maíz de las partes altas de México, encontraron que la diversidad del maíz corresponde a las razas: Cristalino de Chihuahua-Gordo-Azul, Palomero Toluqueño, Cónico Norteño, Cacahuacintle, Bolita, Apachito, Palomero de Chihuahua, Arrocillo Amarillo, Cónico, Chalqueño, Tarasco y Elotes Cónicos. En general los resultados confirmaron tanto los agrupamientos de las colectas a nivel de razas, así como las interrelaciones entre razas conforme a trabajos publicados.

Ortega *et al.* (1991) presentaron una relación actualizada y depurada que reconoce a 41 razas y muestras representativas de maíz en México. Además de las 41 razas citadas, se han observado otras variantes, entre ellas a las denominadas Motozinteco, Coscomatepec, Elotero de Sinaloa y Quicheño; sin

embargo, la información recabada sobre ellas hasta la fecha no justifica su ubicación a nivel de raza, sino como tipos dentro de razas ya descritas.

Silva (1992) estudió la variación dentro de la raza Cónico donde se midieron 34 características en 156 colectas de maíz y determinó que 17 fueron las variables apropiadas para describir a las poblaciones. De acuerdo a este trabajo, estudiar la variación dentro de una raza parece necesitar de un mayor número de caracteres que el estudio de la variación entre razas.

Sánchez *et al.* (1993) en un estudio de 74 razas de maíz (50 razas Mexicanas y 24 razas de América Central, América del Sur y los Estados Unidos de América), determinaron que nueve caracteres fueron apropiados para la clasificación racial: Número de hojas por planta, longitud de la parte ramificada/longitud de la espiga, longitud de entrenudos de la rama central de la espiga, longitud de gluma masculina, ancho de grano, longitud de segmento de raquis, diámetro de médula, diámetro/longitud de mazorca y ancho/longitud de grano.

Diversos estudios sobre la diversidad genética de maíz consideran casos específicos como México (Sánchez *et al.*, 2000a) o bien, en un ámbito regional (Sánchez *et al.*, 2000b), los cuales describen las poblaciones, razas y sus interrelaciones de acuerdo con los coeficientes de similitud de sus características morfológicas.

Herrera *et al.* (2000) estudiaron los caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz en una región: caso la raza Chalqueño, donde evaluaron caracteres vegetativos, caracteres agronómicos, caracteres de la panícula y caracteres de la mazorca. Los caracteres apropiados seleccionados para dicho estudio, aseguran una descripción razonable de la morfología externa de la planta de maíz y permite a un conjunto de individuos con suficientes características en común su reconocimiento como grupo. En este estudio se encontró que la valoración de las estructuras reproductivas femeninas, mazorca, grano y olote, parece ser el criterio morfológico más importante para la clasificación de la diversidad del maíz entre razas y dentro de razas.

Posteriormente Herrera *et al.* (2004), caracterizaron 104 poblaciones para estudiar la diversidad del maíz Chalqueño. Las poblaciones mostraron una amplia diversidad genética y se distribuyeron en cinco grandes grupos con base en su caracterización morfológica: Elotes Chalqueños, Cacahuacintle-Ancho, Chalqueño Cremoso, Cónico-Palomero Toluqueño-Cónico Norteño y Mushito-Chalqueño Arrocillo-Chalqueño-Cónico.

Potencial genético y aprovechamiento de la diversidad del maíz

Nava *et al.* (2000) en una evaluación de 121 poblaciones que incluían colectas reportadas como sobresalientes en estudios previos por Ortega *et al.* (1991) y Silva (1992), identificaron 16 con alta capacidad de rendimiento,

precoces y estables, así como ocho colectas para ambientes con potencial restringido.

Montenegro *et al.* (2002) determinaron el potencial genético y aptitud combinatoria de germoplasma de 57 accesiones de maíz tropical, donde los grupos de probadores de amplia y reducida base genética permitieron constatar la diversidad genética de las accesiones y su potencial. También identificaron grupos de accesiones con base en la expresión fenotípica promedio y a los efectos de aptitud combinatoria general y específica, los cuales podrían ser utilizados en fases posteriores del mejoramiento genético.

Después Hernández y Esquivel (2004), en un estudio sobre rendimiento de grano y características agronómicas en germoplasma de maíz de valles altos de México, concluyeron que existen líneas autofecundadas que pueden ser importantes en la generación de nuevos híbridos para la región de valles altos y que las razas Cristalino de Chihuahua, Ratón, Bolita, Cónico Norteño y Tuxpeño Norteño, poseen características sobresalientes que pueden ser usadas en la región antes mencionada.

Martín *et al.* (2008) realizaron una caracterización agronómica y morfológica en 127 accesiones de maíces nativos del noroccidente de México, donde identificaron criollos de las razas Tabloncillo Perla, Tuxpeño y Tabloncillo, que presentaron rendimientos de grano comparables al testigo mejorado, así como maíces de las razas Ancho, Elotes Occidentales, Elotero de

Sinaloa y Bofo utilizados para pozole y elote que presentaron el mayor rendimiento de grano.

Descripción de las razas

En la publicación sobre las razas de maíz en México, Wellhausen *et al.* (1951), consideraron cuatro grupos principales: Razas indígenas Antiguas, Exóticas Precolombinas, Mestizas Prehistóricas y Modernas Incipientes.

En el estado de Coahuila se ha identificado la presencia de siete grupos raciales: Celaya, Cónico Norteño, Elotes Cónicos, Olotillo, Ratón, Tuxpeño y Tuxpeño Norteño (Rincón *et al.*, 2010a). De acuerdo con Wellhausen *et al.* (1951), Elotes Cónicos, Olotillo y Tuxpeño pertenecen a las razas Mestizas Prehistóricas mientras que Celaya y Cónico Norteño a Modernas Incipientes.

Elotes Cónicos

Wellhausen *et al.* (1951) describe a Elotes Cónicos como sub-raza del Cónico. Estos parecen haberse originado mediante una intervención genética muy fuerte del Cónico en un maíz harinoso altamente pigmentado y afín al Cacahuacintle. Este tipo de maíz tiene aproximadamente la misma distribución que el Cónico y por lo regular se encuentra en todos los pueblos de la Mesa Central, cultivados en pequeña escala para su consumo en forma de elotes, en altitudes de 2000 a 2800 msnm.

Olotillo

La ascendencia del Olotillo es poco conocida, únicamente se puede explicar su origen como el producto del cruzamiento entre un maíz harinoso de ocho hileras con teocintle. Es probable que este maíz harinoso desconocido tuviera olotes flexibles, puesto que éste es uno de los caracteres más sobresalientes de esta raza. Este tipo de maíz se encuentra distribuido en la cuenca superior del río Grijalva, en la parte central del estado de Chiapas, a alturas de 300 a 700 msnm. Las principales características de la raza son: Plantas altas de aproximadamente tres metros, periodo vegetativo largo; espigas largas, con el número más grande de ramificaciones que todas las razas (en promedio 30.3); las mazorcas son largas, delgadas y cilíndricas con ocho a diez hileras y granos muy anchos (Wellhausen *et al.*, 1951).

Tuxpeño

Según Wellhausen *et al.* (1951), la raza Tuxpeño probablemente es producto de la hibridación del Olotillo y el Tepecintle. Se cultiva extensamente y es la raza más importante de la costa del Golfo de México, desde el nivel del mar hasta los 500 metros de altura. Las principales características son: Plantas altas de 3 a 4 metros en su hábitat nativo, muy tardío, hojas anchas en relación con su longitud; espigas largas, numerosas ramificaciones; mazorcas medianamente delgadas con un diámetro de 44 a 48 mm, cilíndrica; 12 a 14 números de hileras; granos anchos, medianamente gruesos, con una longitud

media de 12.8 mm. 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. Ha figurado entre los antecesores de algunas de las razas de México, tales como Celaya, Chalqueño y Cónico Norteño.

Celaya

Es el híbrido de las razas Tuxpeño y Tabloncillo. Es probable que se haya originado en la parte sur de la Mesa Septentrional que se extiende hasta San Luis Potosí, a elevaciones ligeramente más bajas que las de El Bajío. Es la raza dominante en la región conocida como El Bajío, a altitudes de 1200 a 1800 msnm, su distribución geográfica tiene su centro en las tres cuartas partes del estado de Guanajuato. Las principales características son: Plantas de 2 a 3 metros de altura; espigas largas, número de ramificaciones medianamente alto con algunas secundarias y pocas terciarias; mazorcas de longitud mediana, con un diámetro de 43 a 47 mm, cilíndricas; con un número promedio de 12.4 hileras; granos fuertemente dentados (Wellhausen *et al.*, 1951).

Cónico Norteño

De acuerdo con Wellhausen *et al.* (1951), la raza Cónico Norteño se originó a partir de la raza Cónico de la Mesa Central, habiendo sido modificado por la introducción de plasma germinal del Celaya o sus precursores, el

Tuxpeño y el Tabloncillo. El Cónico Norteño se ha encontrado cultivado extensamente en la región norte de El Bajío, a elevaciones de 1600 a 2100 msnm. Las principales características son: Plantas cortas, precoces; espigas intermedias a largas, número mediano de ramificaciones, secundarias frecuentes y ningunas terciarias; mazorcas con un diámetro de 45 a 48 mm, cortas o intermedias, adelgazamiento mediano y uniforme de la base al ápice; un promedio de 16 hileras; granos angostos, delgados y largos bastante bien dentados.

Ratón

Los posibles progenitores de esta raza son Nal-Tel y Tuxpeño Norteño, dado que las características morfológicas de planta y espiga se parecen a Nal-Tel y en cuanto a mazorca y grano se asemejan a Tuxpeño Norteño. La distribución de esta raza, se encuentra en la parte central del estado de Tamaulipas. Las principales características son: periodo vegetativo corto con inicio de floración a los 54-60 días, plantas de porte bajo de 2.5 a 3 metros; hojas con una longitud de 90 cm; espigas cortas con numerosas ramificaciones; mazorcas de forma semi-cónica con 12 a 16 hileras de granos; grano de tamaño medio y textura dentada. Esta raza posee características deseables para el mejoramiento genético tales como: precocidad, estabilidad en rendimiento, resistencia a la sequía y tendencia al cuateo (Ortega, 1985).

Tuxpeño Norteño

Se encuentra ampliamente distribuido en el Norte de México, domina en los cultivos del Noreste de México a altitudes menores a los 1400 metros. Las principales características son: periodo vegetativo de ciclo intermedio (dos semanas más precoz que Tuxpeño), 63 a 73 días para el inicio de la floración; plantas menos vigorosas que Tuxpeño con una altura de 2.5 a 3.5 metros; alto número de ramas de la espiga (31-37); mazorcas de forma cilíndrica con 10 a 16 hileras; grano dentado, generalmente de color blanco (Ortega, 1985).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

El estudio consistió de 90 poblaciones de maíz nativo recolectadas en el estado de Coahuila, en 2008, en altitudes de 248 a 2557 msnm (Rincón *et al.*, 2010b). La clasificación preliminar por comparación visual de muestras y catálogos de descripciones de razas de maíz, identificó a siete grupos raciales de manera típica o en versiones intermedias interracial y las poblaciones fueron agrupadas de acuerdo a la altitud de procedencia (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Clasificación de poblaciones colectadas de maíz en razas y en base a la altitud del sitio de colecta y frecuencias, Coahuila, México.

Clasificación Racial	Grupos (Altitud en msnm)				Total
	Bajo (B) (< 1000)	Intermedio (I) (1001 – 1800)	Transición (T) (1801 – 2000)	Altura (A) (> 2001)	
Celaya x Tuxpeño	1				1
Cónico Norteño		1	6	12	19
Cónico Norteño x Ratón			1		1
Cónico Norteño x Tuxpeño Norteño		1		1	2
Elotes Cónicos			1	1	2
Olotillo x Ratón		3			3
Ratón	6	17	1		24
Ratón x Cónico Norteño		1			1
Ratón x Olotillo	1	1			2
Ratón x Tuxpeño Norteño	2	4			6
Tuxpeño Norteño	9	8	1		18
Tuxpeño Norteño x Celaya	1	1			2
Tuxpeño Norteño x Ratón	1				1
Tuxpeño	5				5
Tuxpeño x Celaya	2	1			3
Total	28	38	10	14	90

Ubicación del sitio experimental

La evaluación agronómica de las 90 poblaciones fue realizada por dos años (2008 y 2009) en dos localidades: El Mezquite, Galeana, N. L. y General Cepeda, Coah., bajo condiciones de riego. La descripción general de las condiciones ambientales de cada localidad se presenta en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2. Localización geográfica y condiciones agroecológicas de las localidades utilizadas en el estudio.

	El Mezquite, Galeana, Nuevo León	General Cepeda, Coahuila
Coordenadas geográficas:		
Latitud (Norte)	25° 18' 06"	25° 26' 00"
Longitud (Oeste)	101° 16' 69"	101° 27' 00'
Altitud (msnm)	1890	1350
Descripción climática:		
Estación:	Agrodelta El Cuije (Galeana, N. L.)	Rancho La Gloria (Gral. Cepeda, Coah.)
Temperatura media anual (°C)	15.5	18.4
Precipitación media anual (mm)	416.4	279.9

La combinación de años (2008 y 2009) y localidades (El Mezquite, Galeana, N. L. y General Cepeda, Coah.) fue considerada como cuatro ambientes de evaluación (MZ08, MZ09, GC08 y GC09, respectivamente).

Diseño experimental

Las poblaciones fueron establecidas en experimentos repetidos en surcos (unidad experimental) de 4 m de largo, con una distancia entre plantas de 0.2 m

y distancia entre surcos de 0.92 m en El Mezquite y 0.80 m en General Cepeda, para los dos años, respectivamente. Se sembraron 30 semillas por cada unidad experimental para posteriormente dejar 21 plantas por parcela. Se utilizó un diseño de bloques incompletos con arreglo α – látice (Barreto *et al.*, 1997). Las aleatorizaciones fueron generadas con el paquete Crop Stat (IRRI, 2007).

Siembra

Las fechas de siembra para El Mezquite fueron el 21 y 08 de Mayo de 2008 y 2009, respectivamente; en General Cepeda fue el 12 de Junio (2008) y 29 de Mayo de 2009.

Fertilización

Se utilizó una dosis de fertilización de 120-60-60 en las dos localidades de estudio. Se aplicó la mitad de nitrógeno con todo el fósforo y potasio a la siembra con fertilizante fórmula 17 – 17 – 17; la otra mitad del nitrógeno se aplicó al primer cultivo con Urea (46-00-00).

Riegos

En las dos localidades, debido a las condiciones del suelo, se sembró en húmedo. Posteriormente, el número de riegos estuvo en función de las condiciones meteorológicas de cada localidad.

Labores culturales

Las labores culturales, aplicación de herbicidas y pesticidas para el cultivo, se realizaron de acuerdo a las necesidades del cultivo en cada localidad.

Caracteres evaluados

Evaluación agronómica: Para los dos años de evaluación, se obtuvo datos promedio por parcela, para obtener la siguiente información:

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

Asincronía de floración ASI (días): Fue estimado como la diferencia entre días a floración masculina y días a floración femenina.

Altura de planta y mazorca (APTA, AMAZ) (cm): Se midió desde el ras del suelo hasta el punto donde la espiga empieza a ramificarse y de la base de la planta al nudo de inserción de la mazorca superior, respectivamente.

Cobertura de mazorca (%): La mala cobertura de mazorca (MCOB), fue calculada dividiendo el número de plantas con mala cobertura entre el número

de plantas por unidad experimental, multiplicado por 100. El conteo de plantas con mala cobertura se realizó antes de la cosecha.

Prolificidad (PRO): Se determinó dividiendo el número de mazorcas entre el número de plantas por unidad experimental.

Mazorcas podridas (MP) (%): Se estimó dividiendo el número de mazorcas podridas entre el número de mazorcas por unidad experimental, multiplicado por 100.

Humedad de grano (HUM): El contenido de humedad en el grano se estimó al momento de la cosecha. La medida se obtuvo con el aparato Dickey John, a partir de una muestra aleatoria de grano de varias mazorcas de cada unidad experimental, el resultado se expresó en porcentaje.

Rendimiento de grano (REND): Se obtuvo de multiplicar el valor del peso seco (PS) por un factor de conversión (FC) de la superficie de la parcela experimental a una hectárea. Este valor se multiplicó por el porcentaje de desgrane para obtener el rendimiento de grano.

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

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

El factor de conversión se calculó de la siguiente manera:

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

Donde: Área de parcela útil (APU): se calculó como el producto de la distancia entre surcos por la distancia entre plantas por el número de plantas por parcela; 100/85: coeficiente para obtener el rendimiento al 15 % de humedad; 1000: constante usada para calcular el rendimiento en t ha⁻¹; 10000: superficie de una hectárea en m².

Número de plantas (PTS): Número total de plantas por unidad experimental antes de la cosecha; este dato se utilizó en el cálculo de cobertura de mazorca, prolificidad y rendimiento de grano.

Número de mazorcas (MAZ): Número total de mazorcas cosechadas por unidad experimental; este dato se uso para el cálculo de prolificidad y mazorcas podridas.

Peso de campo (PC): Es el peso de las mazorcas de cada unidad experimental al momento de la cosecha, expresado en kilogramos. Este dato fue utilizado para el cálculo de rendimiento.

Descripción morfológica: Se obtuvo el promedio de cinco plantas por parcela, utilizados para la caracterización de las 90 colectas. Se obtuvo información de

caracteres morfológicos utilizados en la descripción de germoplasma (IBPGR, 1991) así como aquellos utilizados en estudios de clasificación de maíz (Sánchez *et al.*, 1993; Herrera *et al.*, 2000).

Datos sobre la planta

Vegetativos: Para la toma de datos de estas variables, en los dos años de evaluación se seleccionaron cinco plantas representativas en cada parcela (unidad experimental).

Altura de planta y de mazorca (APTA, AMAZ). Se midió igual que en la evaluación agronómica.

Hojas arriba de la mazorca (HAMAZ): Se contó el número de hojas presentes arriba de la mazorca superior.

Longitud y ancho de hoja (LHOJA, AHOJA): Se midió en cm, desde la lígula hasta el ápice de la hoja que sobresale de la mazorca superior y del punto medio de la longitud de la misma, respectivamente. Las mediciones se realizaron después de la floración.

Índice de área foliar (IAF): Se calculó multiplicando (largo x ancho x 0.75), de la hoja utilizada anteriormente (Elings, 2000).

Número de ramificaciones de la espiga (ESP): Se contó el número total de ramificaciones de la espiga, tanto primarias, secundarias y terciarias.

Relación altura de mazorca/altura de planta (AMAZ/APTA): Se calculó dividiendo la altura de mazorca entre la altura de planta.

Datos de la mazorca

Los datos de la mazorca fueron obtenidos de cinco y cuatro mazorcas representativas de cada unidad experimental en el 2008 y 2009, respectivamente. En cada mazorca se determinó:

Número de hileras en la mazorca (HIL): Se contó el número de hileras de granos en la parte central de cada mazorca.

Granos por hilera (GHIL): Se contó el número total de granos en una hilera completa y representativa en cada mazorca.

Longitud de mazorca (LMAZ): Se midió la longitud de la base al ápice de la mazorca, en cm.

Diámetro de mazorca (DMAZ): Se midió el diámetro de la parte central de la mazorca, en cm.

Diámetro de olote (DOLO): En cm, diámetro de la parte media del olote de las mazorcas utilizadas anteriormente.

Dimensiones del grano: Se obtuvo mediciones de 10 granos consecutivos de una hilera en el punto medio de cada mazorca, para determinar en promedio la longitud de grano (LG), ancho de grano (AG) y espesor de grano (EG) expresado en (cm).

Peso de mil semillas (PMILS): Se utilizó dos repeticiones de 50 semillas para determinar el peso y la suma se multiplicó por 10, ajustado a un contenido de humedad del 12 %, con la finalidad de estimar el peso de 1000 semillas.

Porcentaje de desgrane (DESG) (%): Se calculó dividiendo el peso de semilla entre el peso de mazorca y multiplicado por 100.

Peso volumétrico (PVOL): Para determinar el peso volumétrico se empleó la balanza de peso volumétrico Ohaus. El peso volumétrico se reporta en kilogramos por hectólitro.

Contenido de humedad del grano (HUM): Se determinó a base de secado en la estufa por el método de la International Seed Testing Association (ISTA, 2009).

Superficie de mazorca (SUPMAZ): Se determinó multiplicando ($3.141592 \times$ diámetro de mazorca \times longitud de mazorca), expresado en cm^2 (Goodman y Paterniani, 1969).

Volumen de grano (VGRANO): Se calculó multiplicando (longitud de grano \times ancho de grano \times espesor de grano), expresado en cm^3 .

Relación diámetro/longitud de mazorca (DMAZ/LMAZ): Se obtuvo dividiendo el diámetro de mazorca entre longitud de mazorca.

Relación diámetro de olote/diámetro de mazorca (DOLO/DMAZ): Se calculó dividiendo el diámetro de olote entre el diámetro de mazorca.

Relación ancho/longitud de grano (AG/LG): Se determinó dividiendo al ancho de grano entre longitud de grano.

Relación espesor/longitud de grano (EG/LG): Se calculó dividiendo el espesor entre longitud de grano.

Relación espesor/ancho de grano (EG/AG): Se obtuvo dividiendo el espesor entre el ancho de grano.

Algunos de los caracteres señalados anteriormente, se generaron mediante la combinación aritmética de los caracteres medidos tanto de la planta como de la mazorca y grano.

Análisis de la información agronómica

El análisis de datos de la evaluación agronómica se realizó mediante un análisis de varianza (SAS Institute, 2004), donde se probaron los efectos de grupos por procedencia altitudinal, poblaciones, poblaciones dentro de grupos, y las interacciones con los ambientes de evaluación. En el análisis de varianza, los ambientes, grupos y la interacción grupos \times ambientes fueron considerados efectos fijos, y el resto como efectos aleatorios. Para el análisis de la información agronómica se utilizó el modelo lineal:

$$Y_{ijklm} = \mu + A_i + R_{j(i)} + B_k(A_iR_j) + G_l + E_m(G_l) + A_iG_l + E_m(A_iG_l) + \varepsilon_{ijklm}$$

Donde: Y_{ijklm} = Variable de respuesta; μ = Efecto de la media general; A_i = Efecto del i -ésimo ambiente; $R_{j(i)}$ = Efecto de la j -ésima repetición dentro del i -ésimo ambiente; $B_k(A_iR_j)$ = Efecto del k -ésimo bloque dentro de la j -ésima repetición en el i -ésimo ambiente; G_l = Efecto del l -ésimo grupo; $E_m(G_l)$ = Efecto de la m -ésima población dentro del l -ésimo grupo; A_iG_l = Efecto de la interacción del i -ésimo ambiente por el l -ésimo grupo; $E_m(A_iG_l)$ = Efecto de la m -

ésima población dentro del i -ésimo ambiente por el l -ésimo grupo; ε_{ijklm} = Error experimental.

En la comparación de medias, se utilizó como criterio de selección de poblaciones al valor superior a la $\mu + 2$ veces el error estándar.

Los datos de repeticiones, localidades y años (MEZ08, MEZ09, GC08 y GC09) se usaron para realizar el análisis de la interacción poblaciones \times ambientes, mediante un análisis de dispersión gráfica (Yan y Tinker, 2006; Yan, 2007).

Análisis de la información de caracteres para descripción morfológica

El análisis de datos de la caracterización, se realizó mediante un análisis de varianza (SAS Institute, 2004), donde se probaron los efectos de poblaciones y las interacciones con los ambientes de evaluación. Para el análisis de la información de los caracteres morfológicos se utilizó el modelo lineal:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + R_{j(i)} + B_k(A_i R_j) + E_l + A_i E_l + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde: Y_{ijkl} = Variable de respuesta; μ = Efecto de la media general; A_i = Efecto del i -ésimo ambiente; $R_{j(i)}$ = Efecto de la j -ésima repetición dentro del i -ésimo ambiente; $B_k(A_i R_j)$ = Efecto del k -ésimo bloque dentro del i -ésimo ambiente por la j -ésima repetición; E_l = Efecto de la l -ésima entrada o población; $A_i E_l$ = Efecto

de la interacción del *i*-ésimo ambiente por la *l*-ésimo entrada; ε_{ijkl} = Error experimental.

Selección de caracteres para clasificación

Para la selección de variables usadas en la clasificación racial, se utilizó el criterio dado por Goodman y Paterniani (1969), que indican que los caracteres más apropiados para la clasificación taxonómica, son aquellos que presentan los valores más altos de la relación “r” (repetibilidad).

$$r = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_a^2 + \sigma_{cxa}^2}$$

Donde: σ_c^2 y σ_a^2 son los estimadores de los componentes de varianza debido a las diferencias entre colectas o poblaciones y ambientes, respectivamente; y σ_{cxa}^2 es el estimador del componente de varianza debido a la interacción entre colectas y ambientes. La regla de decisión consistió en aceptar los caracteres cuya relación (r) fuera mayor a uno ($r > 1.0$), porque valores mayores a la unidad significa que es mayor la variación de los efectos genéticos que la de los efectos ambientales y la interacción juntos.

Los estimadores de componentes de varianza se obtuvieron mediante un análisis de varianza de 31 caracteres evaluados para la descripción

morfológica, utilizando el procedimiento PROC MIXED del paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) (SAS Institute, 2004).

Análisis de dispersión y clasificación

El análisis de agrupamiento y distribución de la diversidad de las poblaciones de maíz, consistió en el análisis de componentes principales (ACP) y análisis de conglomerados, basados en las medias de colectas a través de ambientes, para las variables que se consideraron como apropiadas para la valoración de la diversidad genética.

Con los datos de las 90 colectas evaluadas en dos años (2008 y 2009) en dos localidades, se analizaron los promedios de 16 caracteres, los cuales fueron seleccionados por el criterio $r > 1.0$.

Se realizó el análisis de componentes principales mediante el procedimiento PRINCOMP del paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2004). También se realizó el análisis de conglomerados bajo el método de agrupamiento por pares usando promedios aritméticos (UPGMA). Las distancias entre unidades taxonómicas que se sometieron al análisis de agrupamiento fueron de disimilaridad, calculadas como el complemento del coeficiente de correlación entre los pares posibles entre poblaciones (Sneath y Sokal, 1973).

El análisis de conglomerados se realizó sobre el arreglo de los datos en una matriz cuyas hileras correspondieron a las colectas y las columnas a los caracteres; la matriz fue del orden 90 x 16. Con el objeto de evitar el problema de las diferencias en las escalas en que se midieron los caracteres, se estandarizó la información sustrayendo la media a cada variable y dividiendo por su desviación estándar: $z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j}$. Con los valores estandarizados se calculó el coeficiente de disimilitud, obtenido mediante el complemento del coeficiente de correlación (1 - r) entre los pares posibles de poblaciones. La matriz de distancias fue usada para hacer el análisis de conglomerados con el paquete NTSYS-pc (Rohlf, 2009). Se utilizó el método de agrupamiento por pares usando promedios aritméticos (UPGMA) para obtener las relaciones entre poblaciones (dendrograma) (Sneath y Sokal, 1973; Rincón *et al.*, 1996).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación agronómica de 90 poblaciones de maíz

El análisis de varianza mostró diferencias ($P \leq 0.01$) entre Grupos y para efectos de la interacción Grupos \times Ambientes para todos los caracteres evaluados, excepto asincronía de floración y altura de planta para Grupos donde se encontró diferencia ($P \leq 0.05$). Las Poblaciones dentro de Grupos, mostraron diferencia ($P \leq 0.01$) para la mayoría de los caracteres, excepto en mala cobertura, donde la diferencia fue al 0.05 de probabilidad (Cuadro 4.1).

Lo anterior indica la existencia de diversidad genética entre grupos de poblaciones adaptadas a áreas ecológicas específicas, así como la variación entre poblaciones dentro de grupos, que se atribuye a las interrelaciones entre grupos raciales (Cuadro 3.1). La significancia de la interacción Grupos \times Ambientes, indica que las cuatro agrupaciones altitudinales de maíz responden diferencialmente a los ambientes de evaluación.

No obstante que las razas con mayor frecuencia fueron Ratón, Cónico Norteño y Tuxpeño Norteño, las cuales cuentan con una distribución amplia, el resto de las razas constituyen un componente importante en cada una de las

Cuadro 4.1. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de los ambientes de evaluación, para variables agronómicas. El Mezquite, N. L. y General Cepeda, Coah. 2008 y 2009.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)	Floración masculina (d)	Asincronía de floración (d)	Altura de planta (cm)	Mala cobertura (%)	Prolificidad	Mazorcas podridas (%)
Ambientes (Amb)	3	204.249 **	26,217.64 **	68.31 **	25,942.62 **	307.93 **	1.19 **	5,858.52 **
Repeticiones (Rep)/Amb	4	3.498	57.91	3.74	1,052.83	25.22	0.06 *	49.34
Bloques/Amb x Rep	52	1.879 *	29.72 **	5.51 **	681.98 **	46.30	0.01	52.51
Grupos	3	98.011 **	4,241.89 **	18.05 *	12,961.97 *	1,490.18 **	1.26 **	7,403.54 **
Poblaciones/Grupos	86	5.969 **	217.17 **	5.83 **	4,242.22 **	65.21 *	0.05 **	120.97 **
Grupos x Ambientes	9	39.628 **	263.36 **	20.05 **	842.16 **	121.91 **	0.18 **	524.51 **
Poblaciones/AmbxGrupos	258	1.889 **	19.85 **	3.41	320.02 *	44.83	0.02	57.17
Error	304	1.271	13.49	3.28	245.09	42.39	0.02	58.62
CV (%)		19.729	4.23	67.25	6.75	100.12	14.42	73.28

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

Cuadro 4.2. Comparación de medias de ambientes de evaluación para variables agronómicas. El Mezquite, N. L. y General Cepeda, Coah. 2008 y 2009.

Ambientes	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)	Floración masculina (d)	Asincronía de floración (d)	Altura de planta (cm)	Mala cobertura (%)	Prolificidad	Mazorcas podridas (%)
Mezquite 2009	7.077 a	102.03 a	2.57 a b	225.35 b	7.74 a	1.01 a	6.46 b
Mezquite 2008	5.665 b	96.57 b	2.33 b	226.95 b	5.34 b	0.95 a b	5.41 b
General Cepeda 2009	5.397 b c	70.97 d	2.52 a b	251.31 a	5.68 a b	0.87 b c	14.26 a
General Cepeda 2008	4.720 c	77.77 c	3.34 a	223.91 b	7.25 a b	0.84 c	15.67 a
Media	5.715	86.84	2.69	231.88	6.50	0.92	10.45
Tukey ($\alpha= 0.05$)	0.803	3.27	0.83	13.92	2.15	0.10	3.01

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

Cuadro 4.3. Comparación de medias de grupos por procedencia altitudinal para variables agronómicas a través de localidades de evaluación. El Mezquite, N. L. y General Cepeda, Coah. 2008 y 2009.

Grupos	Rendimiento de grano		Floración masculina		Asincronía de floración		Altura de planta		Mala cobertura		Prolificidad		Mazorcas podridas	
	(t ha ⁻¹)		(d)		(d)		(cm)		(%)				(%)	
Bajo (B)	6.120	a [†]	92.69	a	2.49	b	241.73	a	4.09	b	0.95	a b	5.62	c
Intermedio (I)	6.044	a	86.28	b	2.55	a b	226.59	a	5.58	b	0.97	a	8.00	c
Transición (T)	5.515	a	83.24	b c	2.98	a b	235.93	a	9.34	a	0.89	b	15.58	b
Altura (A)	4.151	b	79.21	c	3.30	a	223.63	a	11.80	a	0.74	c	23.10	a
Media	5.715		86.84		2.69		231.88		6.50		0.92		10.45	
Tukey ($\alpha= 0.05$)	0.773		4.66		0.76		20.61		2.56		0.07		3.48	

[†]Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$).

regiones ecológicas. La raza Cónico Norteño se adapta entre el área de transición y de altura, en tanto que las razas Ratón y Tuxpeño Norteño se adaptan a áreas de altitud baja a intermedia, principalmente (Cuadro 3.1). Según Castillo (1993), la variabilidad genética se puede estudiar para determinar la dirección de su aprovechamiento, para lograr un mejor uso de los genotipos y relacionarlos con su área de adaptación.

En el Cuadro 4.2 se presenta la comparación de medias de los ambientes de evaluación, donde se muestra una superioridad para rendimiento de grano de El Mezquite, N. L. (MEZ09 y MEZ08) con un rendimiento promedio de 7.077 y 5.665 t ha⁻¹, respectivamente. Sin embargo, la media indica que las poblaciones fueron más tardías, presentaron buena expresión en el número de mazorcas por planta y menor porcentaje de mazorcas podridas. También se nota que el efecto de años es importante dentro de localidades para los días a floración y rendimiento de grano.

Con base al promedio de grupos por procedencia altitudinal (Cuadro 4.3), los grupos bajo, intermedio y transición fueron estadísticamente iguales en rendimiento de grano, pero superiores al grupo de altura al ser evaluados en localidades y años. Sin embargo, el grupo de altura aun cuando presenta el menor rendimiento (4.151 t ha⁻¹) fue el más precoz (79.21 días para floración masculina) y el grupo bajo es el más tardío pero con mayor rendimiento. Los grupos de transición y altura presentaron los valores más altos para mala

cobertura de mazorca y mayor porcentaje de mazorcas podridas, lo cual se reflejó en el rendimiento de grano.

Las poblaciones que representan a los grupos de adaptación (bajo, intermedio, transición y altura) son diferentes y por lo tanto la variación dentro de grupos. Aun cuando se encontró una distribución amplia de los grupos raciales, el comportamiento agronómico de las poblaciones mostró un patrón asociado con el origen y condiciones de adaptación (Cuadro 4.3).

Interacción de los Grupos × Ambientes para rendimiento de grano

Los Grupos tuvieron un comportamiento diferente ($P \leq 0.01$) en los ambientes de evaluación (Cuadros 4.1, 4.3) lo cual era de esperarse por la diversidad de sitios de procedencia y de las combinaciones genéticas de las poblaciones dentro de Grupos. La respuesta de interacción Grupos × Ambientes para rendimiento de grano (Figura 4.1), muestra que el comportamiento relativo de los Grupos fue diferente a través de los ambientes de evaluación. Las poblaciones de los grupos de transición y de altura muestran un comportamiento contrastante al ser evaluados en la localidad de General Cepeda (GC08 y GC09) en comparación con El Mezquite (MEZ08 y MEZ09), en tanto que las poblaciones adaptadas a altitudes bajas e intermedias responden de manera menos contrastante a los cambios ambientales. Mercer *et al.* (2008) encontraron una respuesta similar y mencionan que es más difícil para las

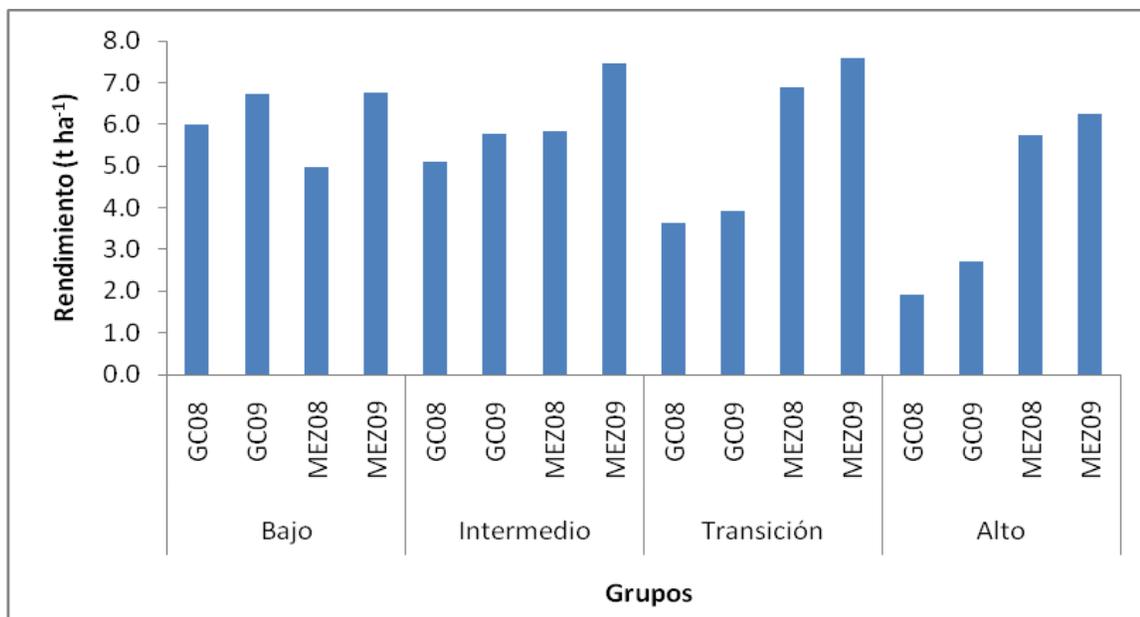


Figura 4.1. Interacción Grupos × Ambientes para rendimiento de grano. GC08 = General Cepeda 2008, GC09 = General Cepeda 2009, MEZ08 = Mezquite 2008 y MEZ09 = Mezquite 2009.

poblaciones de zonas de altura, adaptarse a altitudes bajas, que para las poblaciones de altitudes medias y bajas al ser evaluadas a mayor altura.

Las poblaciones clasificadas como de zonas bajas tienen un mayor rango de adaptación, con base en el rendimiento promedio (Figura 4.1), al presentar similar rendimiento de grano, con promedio de 6.369 t ha^{-1} para la localidad de General Cepeda (GC08 y GC09) y 5.872 t ha^{-1} para El Mezquite (MEZ08 y MEZ09). De manera similar, las poblaciones del grupo intermedio responden de manera consistente a los cambios ambientales. Por el contrario, las poblaciones clasificadas como de transición y de altura muestran una drástica respuesta al ser evaluadas en General Cepeda, localidad de altitud intermedia (1350 m) con clima también diferente (Cuadro 3.2).

Interacción de las Poblaciones x Ambientes de evaluación

La respuesta de interacción de las Poblaciones x Ambientes de evaluación (Figura 4.2), puede ser útil para identificar a las poblaciones con adaptación específica a las condiciones de los sitios incluidos en el estudio. Dicha figura representa la dispersión de las poblaciones con respecto a los años y localidades de evaluación (MZ08, MZ09, GC08 y GC09, respectivamente), con una explicación del 86.1 % de la variación total en el rendimiento de grano. En el eje de las abscisas se indica el rendimiento promedio de las poblaciones, en tanto que el eje de las ordenadas corresponde a la respuesta específica de las poblaciones en los ambientes de evaluación (Yan y Tinker, 2006).

Como los ambientes de evaluación son los probadores de las poblaciones, el eje inclinado de la abscisa indica los efectos promedio, similares a la aptitud combinatoria general (ACG) y la ordenada valora la respuesta a ambientes de prueba específicos, similar a la aptitud combinatoria específica (ACE) (Yan y Kang, 2003).

El ángulo que forman los vectores de los ambientes a partir del origen, indica el nivel de asociación entre ellos. Por lo tanto, los vectores asociados a cada ambiente (localidad x año) están estrechamente relacionados (ángulo menor a 30°), en tanto que entre las dos localidades, los ambientes muestran un comportamiento independiente entre ellos (ángulo de aproximadamente 90°). La ubicación de las poblaciones en las ordenadas con dirección alejada

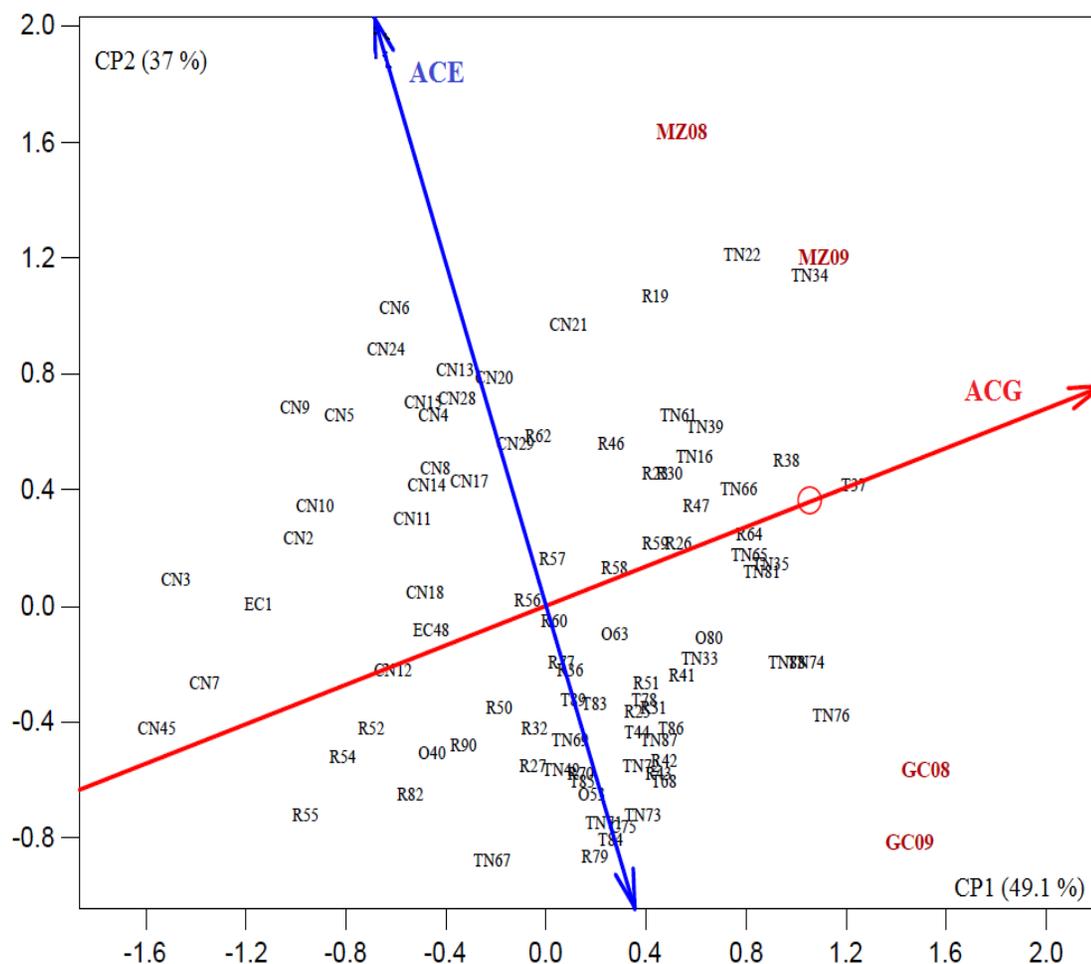


Figura 4.2. Interacción Poblaciones x Ambientes de evaluación con base en el rendimiento de grano de 90 poblaciones de maíz evaluadas en dos localidades de Coahuila, México, durante 2008 y 2009 (MZ08, MZ09, GC08 y GC09). Las letras en los puntos correspondientes a las poblaciones indican el grupo racial y el número de la población. C = Celaya; CN = Cónico Norteño; EC = Elotes Cónicos; O = Olotillo; R = Ratón; T = Tuxpeño; TN = Tuxpeño Norteño.

del origen, indican la respuesta positiva al ambiente específico; por tanto, las poblaciones ubicadas cerca de la línea paralela a las abscisas, son consideradas como estables en rendimiento de grano a través de ambientes (localidades x años) (Yan y Tinker, 2006).

De esta manera, se identificó a tres grupos de poblaciones de acuerdo con su adaptación: El primero, con adaptación a El Mezquite (valores positivos en la ordenada) con 30 poblaciones que representan un (33.4 %), el segundo a la localidad de General Cepeda (valores negativos en la ordenada), con 38 poblaciones (42.2 %), así como a un tercer grupo con 22 poblaciones (24.4 %), con estabilidad a través de las dos localidades y dos años de evaluación. La interacción poblaciones x ambientes (Figura 4.2) indica que el comportamiento promedio de los grupos raciales resultó asociado con los ambientes de evaluación. En El Mezquite, las razas con un comportamiento aceptable fueron Cónico Norteño (20.0 %), Ratón (6.7 %) y Tuxpeño Norteño (5.6 %); en General Cepeda, las razas Ratón (17.8 %), Tuxpeño Norteño (12.2 %) y Tuxpeño (8.9 %); en el Grupo de poblaciones estables, sobresale la raza Ratón (12.2 %), Cónico Norteño (4.4 %) y Tuxpeño Norteño (4.4 %) (Figura 4.2).

Potencial de rendimiento de las poblaciones evaluadas

Con base en el rendimiento promedio a través de ambientes, se identificó a las mejores 22 poblaciones (Cuadro 4.4). Estas poblaciones son las que se encuentran con valores positivos en el eje de las abscisas (Figura 4.2) y corresponden principalmente a la raza Tuxpeño Norteño, la combinación de Tuxpeño Norteño con Ratón y Celaya; cuatro poblaciones de la raza Ratón y una de Tuxpeño; las combinaciones Ratón x Olotillo, Tuxpeño Norteño y Tuxpeño x Celaya.

Cuadro 4.4. Medias de rendimiento de grano y floración masculina de las poblaciones de maíz con mayor rendimiento a través de ambientes de evaluación El Mezquite, N. L. y General Cepeda, Coah. 2008 y 2009.

Población	Grupo	Raza	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)					Floración masculina (d)			
			Promedio	GC08	GC09	MZ08	MZ09	GC08	GC09	MZ08	MZ09
COAH-037	I	TxC	8.02 *	6.22 *	8.26 *	6.22	11.37 *	81.0	77.5 *	106.0 *	107.0
COAH-076	B	TNxC	7.82 *	7.07 *	9.72 *	6.08	8.40	85.5 *	80.5 *	111.5 *	116.0 *
COAH-034	I	TN	7.82 *	5.63	6.87	8.67 *	10.09 *	78.0	70.5	94.0	101.0
COAH-038	B	RxTN	7.77 *	6.27 *	7.22 *	8.03 *	9.56 *	85.5 *	73.0	105.0 *	105.0
COAH-081	B	TN	7.65 *	5.63	8.21 *	6.01	10.74 *	89.0 *	84.5 *	111.5 *	121.0 *
COAH-074	B	TNxR	7.54 *	5.65	9.48 *	5.62	9.42 *	78.0	77.0 *	108.5 *	111.5 *
COAH-088	B	TN	7.50 *	8.88 *	6.64	5.78	8.72	80.0	73.0	108.0 *	108.5 *
COAH-022	I	TN	7.47 *	6.74 *	4.13	8.90 *	10.13 *	79.0	75.0 *	98.0	99.0
COAH-035	I	TN	7.40 *	6.74 *	7.42 *	7.34 *	8.10	83.0 *	72.0	103.5	111.0 *
COAH-065	I	TN	7.34 *	5.81	7.89 *	6.97	8.68	83.0 *	79.0 *	104.0	110.5 *
COAH-066	I	TN	7.29 *	7.22 *	5.71	7.05	9.16 *	80.0	73.0	103.5	103.0
COAH-064	I	RxTN	7.23 *	6.24 *	6.99	6.20	9.50 *	82.5 *	73.5	101.5	102.0
COAH-039	B	TN	7.13 *	7.40 *	4.93	8.68 *	7.50	81.5 *	79.0 *	100.0	111.0 *
COAH-061	I	TN	6.96 *	5.26	5.76	7.77 *	9.04 *	76.5	72.0	92.0	101.0
COAH-019	T	R	6.89 *	6.09	4.32	9.57 *	7.60	81.0	77.0 *	94.0	98.0
COAH-086	B	T	6.85 *	5.88	8.28 *	5.46	7.78	90.0 *	87.5 *	118.0 *	128.0 *
COAH-080	B	RxO	6.83 *	5.70	7.69 *	5.75	8.21	79.0	69.0	98.5	106.0
COAH-016	T	TN	6.81 *	5.74	5.73	7.63 *	8.13	79.0	69.0	100.0	94.5
COAH-047	I	R	6.69 *	5.39	5.95	6.15	9.28 *	78.0	71.5	98.0	101.0
COAH-033	B	TN	6.66 *	6.30 *	7.02	5.76	7.56	79.0	73.0	98.5	107.0
COAH-026	I	R	6.61 *	5.61	5.98	5.68	9.17 *	79.0	70.0	102.0	97.5
COAH-030	I	R	6.59 *	4.81	6.43	7.63 *	7.50	78.0	72.0	94.0	103.0
<u>Precoces</u>											
COAH-017	T	CN	5.20	2.86	4.43	6.45	7.07	67.0	67.0	78.0	88.0
COAH-050	I	R	5.18	4.01	5.78	4.63	6.28	72.0	59.5	87.0	91.5
COAH-012	A	CN	4.39	2.65	4.69	5.01	5.21	66.0	61.0	79.0	81.0
COAH-052	I	R	4.25	3.64	3.75	4.06	5.57	72.5	59.5	80.0	89.5
COAH-054	I	R	3.89	2.73	3.90	3.24	5.67	67.5	58.0	88.0	87.0
Media			5.76	4.77	5.44	5.71	7.13	77.8	71.0	96.6	102.0
EE			0.41	0.68	0.88	0.75	0.93	1.7	1.5	4.0	2.9
Máximo			8.02	9.75	10.95	10.4	13.4	92.0	88.0	145.0	134.0
Mínimo			2.59	0.59	1.13	2.56	2.71	65.0	57.0	78.0	80.0

GC08 y GC09 = General Cepeda 2008 y 2009; MZ08 y MZ09 = Mezquite 2008 y 2009; Raza: C= Celaya; CN=Cónico Norteño; O = Olotillo; R = Ratón; T = Tuxpeño; TN = Tuxpeño Norteño; Grupo: B = Bajo; I = Intermedio; T = Transición; A=Altura; * = Valores superiores a la $\mu + 2$ el error estándar; EE = Error Estándar.

Entre los materiales estables y con buen potencial de rendimiento sobresalen las poblaciones 37 (Tuxpeño x Celaya), 66, 81 y 35 de la raza Tuxpeño Norteño y las poblaciones 38 y 64 (Ratón x Tuxpeño Norteño). Hernández y Esquivel (2004), también identificaron a las razas Ratón y Tuxpeño Norteño, por poseer características sobresalientes que pueden ser usadas en Valles Altos. Las poblaciones 19, 22, 34 y 61 tuvieron adaptación a la localidad El Mezquite, y en sentido opuesto las poblaciones 74, 76 y 88 con adaptación a General Cepeda (Figura 4.2).

La madurez de las poblaciones identificadas en el Cuadro 4.4, se ubica principalmente alrededor de la media poblacional, excepto las poblaciones 76, 81 y 86 que son las más tardías. Sin embargo la población 34 de la raza Tuxpeño Norteño fue la que presentó la mayor precocidad a través de los ambientes de evaluación.

En forma general, la mayor precocidad (floración masculina) de las mejores 22 poblaciones con base en el rendimiento promedio, se presentó en la localidad de General Cepeda (GC09 y GC08) y cuando fueron evaluadas en altitudes mayores: El Mezquite (MEZ08 y MEZ09) las poblaciones fueron más tardías. Cabe mencionar que la mayoría de las poblaciones pertenecen a grupos de altitudes bajas e intermedias (Cuadro 4.4). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Pecina *et al.* (2009), quienes mencionan que las poblaciones al ser evaluadas en localidades de altura y de menor temperatura promedio al de procedencia, se vuelven más tardías.

El análisis de los días a floración masculina permitió identificar a cinco poblaciones precoces y con buen potencial de rendimiento (Cuadro 4.4). Estas poblaciones corresponden a los grupos raciales Ratón (50, 52 y 54) y Cónico Norteño (12 y 17), y pueden ser utilizadas como fuente de precocidad en el mejoramiento genético. Hernández y Esquivel (2004) también identificaron estas razas como precoces al compararlas con testigos y otros materiales mejorados que se siembran en Valles Altos.

Descripción morfológica

En el Cuadro 4.5 se presentan las pruebas de significancia en las fuentes de variación para las variables de descripción morfológica a través de los ambientes de evaluación (2008 y 2009). En los ambientes todas las variables tuvieron un comportamiento diferente ($P \leq 0.01$), excepto porcentaje de desgrane y las relaciones: ancho/longitud de grano y espesor/longitud de grano; sin embargo, para número de ramificaciones de la espiga, número de hileras en la mazorca, peso volumétrico y asincronía de floración la diferencia fue de 0.05 de probabilidad. Con respecto a las Entradas (poblaciones) y la interacción Poblaciones \times Ambientes en todas las variables se encontró diferencia ($P \leq 0.01$) y sólo en asincronía de floración la diferencia fue ($P \leq 0.05$) en la interacción Poblaciones \times Ambientes. Estas diferencias son un indicador de la diversidad genética entre las poblaciones evaluadas y del nivel de interacciones con el ambiente en las características morfológicas.

Cuadro 4.5. Pruebas de significancia de las variables de la descripción morfológica a través de ambientes de evaluación, durante 2008 y 2009.

Variables	A	R/A	B/RxA	E	ExA
Altura de planta (cm)	**		**	**	**
Altura de mazorca (cm)	**		**	**	**
Número de hojas arriba de la mazorca	**		**	**	**
Longitud de hoja (cm)	**		**	**	**
Ancho de hoja (cm)	**		**	**	**
índice de área foliar	**		**	**	**
Número de ramificaciones de la espiga	*	*	**	**	**
Número de hileras en la mazorca	*		*	**	**
Número de granos por hilera	**		**	**	**
Longitud de mazorca (cm)	**			**	**
Diámetro de mazorca (cm)	**		**	**	**
Longitud de grano (cm)	**		**	**	**
Ancho de grano (cm)	**			**	**
Espesor de grano (cm)	**		*	**	**
Diámetro de olote (cm)	**		**	**	**
Peso de mil semillas (g)	**		**	**	**
Porcentaje de desgrane (%)			**	**	**
Peso volumétrico (kg hl ⁻¹)	*	*	**	**	**
Altura de mazorca/Altura de planta	**		**	**	**
Superficie de mazorca (cm ²)	**		**	**	**
Volumen de grano (cm ³)	**		*	**	**
Diámetro/Longitud de mazorca	**			**	**
Diámetro de olote/Diámetro de mazorca	**		**	**	**
Ancho/Longitud de grano				**	**
Espesor/Longitud de grano			**	**	**
Espesor/Ancho de grano	**		*	**	**
Floración masculina (d)	**		**	**	**
Floración femenina (d)	**		**	**	**
Asincronía de floración (d)	*		**	**	*
Prolificidad	**	*		**	**
Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)	**		*	**	**

A = Ambientes; R/A = Repeticiones dentro de ambientes; B/RxA = Bloques dentro repeticiones x ambientes; E = Entradas; ExA = Entradas x Ambientes; *, ** = Significativo al 0.05 y al 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Selección de caracteres para clasificación

En el Cuadro 4.6 se presentan los estimadores de componentes de varianza para colectas (σ_c^2), ambientes (σ_a^2), interacción entre colectas x ambientes (σ_{cxa}^2) y repetibilidad [$r = \sigma_c^2 / (\sigma_a^2 + \sigma_{cxa}^2)$] para cada uno de los 31 caracteres en las 90 colectas evaluadas en cuatro ambientes durante 2008 y 2009.

Con base en el criterio del valor de repetibilidad superior a la unidad ($r > 1.0$) se identifican 17 características (Cuadro 4.6). Estos caracteres fueron seleccionados para ser utilizados en los análisis de clasificación. De acuerdo con los valores obtenidos para los estimadores de componentes de varianza, se puede indicar que, los caracteres que presentaron una mayor variación entre colectas (σ_c^2), en relación a la variación ambiental (σ_a^2) y de interacción entre colectas x ambientes (σ_{cxa}^2), resultaron los más apropiados para caracterizar a las colectas.

Es importante identificar aquellos caracteres más sensibles a cambios ambientales (menos estables); porque un valor bajo de repetibilidad implica que la expresión de las diferencias entre razas establecidas en diferentes ambientes se puede confundir con efectos ambientales y de interacción (Goodman y Paterniani, 1969). Estos autores señalan que los caracteres de naturaleza reproductiva de la mazorca fueron considerablemente menos afectados por

Cuadro 4.6. Estimadores de componentes de varianza para colectas (σ_c^2), ambientes (σ_a^2), interacción colectas x ambientes (σ_{cxa}^2) y repetibilidad [$r = \sigma_c^2 / (\sigma_c^2 + \sigma_a^2 + \sigma_{cxa}^2)$] de 31 variables en 90 colectas de maíz.

Variables	σ_c^2	σ_a^2	σ_{cxa}^2	r
Altura de planta (cm)	590.29000	128.53000	115.62000	2.418 *
Altura de mazorca (cm)	496.22000	189.32000	60.87120	1.983 *
Número de hojas arriba de la mazorca	0.21260	0.02246	0.02688	4.309 *
Longitud de hoja (cm)	36.76090	8.66310	5.62980	2.572 *
Ancho de hoja (cm)	0.16410	0.19930	0.09557	0.557
índice de área foliar	3973.69000	2413.40000	757.59000	1.253 *
Número de ramificaciones de la espiga	8.34490	2.04980	1.67640	2.240 *
Número de hileras en la mazorca	1.43840	0.03094	0.27780	4.659 *
Número de granos por hilera	8.14870	2.66520	3.89550	1.242 *
Longitud de mazorca (cm)	0.56950	0.82850	0.58500	0.403
Diámetro de mazorca (cm)	0.07843	0.00326	0.04273	1.705 *
Longitud de grano (cm)	0.00188	0.00043	0.00414	0.410
Ancho de grano (cm)	0.00420	0.00026	0.00061	4.835 *
Espesor de grano (cm)	0.00050	0.00005	0.00009	3.795 *
Diámetro de olote (cm)	0.12180	0.00183	0.00816	12.189 *
Peso de mil semillas (g)	742.94000	1893.60000	2541.38000	0.168
Porcentaje de desgrane (%)	0.00049	0.00001	0.00030	1.586 *
Peso volumétrico (kg hl ⁻¹)	5.23220	8.55230	22.18410	0.170
Altura de mazorca/Altura de planta	0.00146	0.00094	0.00019	1.290 *
Superficie de mazorca (cm ²)	419.99000	232.63000	343.57000	0.729
Volumen de grano (cm ³)	0.00103	0.00040	0.00087	0.809
Diámetro/Longitud de mazorca	0.00038	0.00028	0.00012	0.939
Diámetro de olote/Diámetro de mazorca	0.00225	0.00018	0.00032	4.485 *
Ancho/Longitud de grano	0.00473	0.00002	0.00083	5.611 *
Espesor/Longitud de grano	0.00024	0.00000	0.00035	0.693
Espesor/Ancho de grano	0.00278	0.00002	0.00030	8.700 *
Floración masculina (d)	47.00650	219.47000	8.67980	0.206
Floración femenina (d)	48.94960	213.91000	10.78800	0.218
Asincronía de floración (d)	0.35640	0.15430	0.27830	0.824
Prolificidad	0.00982	0.00556	0.00467	0.959
Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)	0.82200	0.94940	1.13550	0.394

* = Variables seleccionadas.

factores ambientales y de interacción; los caracteres reproductivos de la espiga fueron medianamente afectados, y los caracteres vegetativos fueron los más afectados.

Algunas de las variables seleccionadas en este estudio como las más apropiadas para la clasificación racial de acuerdo al criterio establecido, también fueron seleccionadas en otros estudios como el de Goodman y Paterniani (1969); Silva (1992); Sánchez *et al.* (1993) y Herrera (1999). Sin embargo, estos autores utilizaron criterios de repetibilidad diferentes y superiores.

Análisis de dispersión de la diversidad de poblaciones

El análisis de la dispersión y distribución de la diversidad de las poblaciones evaluadas se exploró mediante el análisis de componentes principales (ACP). El ACP fue computado con 16 de las 17 variables seleccionadas (Cuadro 4.6) donde se eliminó la altura de mazorca por ser una variable altamente correlacionada con altura de planta. Los vectores característicos asociados a los cuatro primeros componentes principales del análisis de 16 variables se presentan en el Cuadro 4.7. Los dos primeros componentes principales explican el 75.8 % de la varianza total. Se alcanza una explicación del 90.8 % de la varianza total, cuando se toman los cuatro primeros componentes. El primer componente principal (CP1) presenta una mayor asociación con caracteres vegetativos de la planta (número de hojas arriba de

Cuadro 4.7. Valores y vectores característicos asociados a los cuatro primeros componentes principales del análisis de 16 variables para la descripción morfológica.

Variables	Vectores característicos			
	CP1	CP2	CP3	CP4
Altura de planta (cm)	0.16	0.39 *	-0.28	-0.07
Número de hojas arriba de la mazorca	0.31 *	-0.03	-0.05	0.23
Longitud de hoja (cm)	0.30 *	0.12	-0.09	0.25
Índice de área foliar	0.30 *	0.11	-0.11	0.31 *
Número de ramificaciones de la espiga	0.29 *	0.08	-0.19	-0.29
Número de hileras en la mazorca	-0.07	0.47 *	0.01	0.14
Número de granos por hilera	0.23	-0.18	-0.43 *	0.27
Diámetro de mazorca (cm)	0.23	0.29 *	0.23	0.31 *
Ancho de grano (cm)	0.28 *	-0.22	0.21	0.16
Espesor de grano (cm)	-0.13	0.28	0.46 *	0.23
Diámetro de olote (cm)	0.30 *	0.12	0.27	0.01
Porcentaje de desgrane (%)	-0.26	-0.16	-0.28	0.46 *
Altura de mazorca/Altura de planta	0.14	0.36 *	-0.31 *	-0.38 *
Diámetro de olote/Diámetro de mazorca	0.30 *	-0.04	0.27	-0.20
Ancho/Longitud de grano	0.25	-0.30 *	0.22	-0.17
Espesor/Ancho de grano	-0.27	0.31 *	0.09	0.01
Valor característico	8.58	3.55	1.82	0.59
Proporción de varianza explicada (%)	53.65	22.19	11.35	3.68

CP1, CP2, CP3 y CP4 = Componente principal 1, 2, 3 y 4; respectivamente; * = Variables con mayor asociación con el componente principal respectivo.

la mazorca, longitud de hoja, índice de área foliar, número de ramificaciones de la espiga, ancho de grano, diámetro de olote y la relación diámetro de olote/diámetro de mazorca); mientras que el segundo componente está definido mayormente por caracteres de la mazorca y grano, y únicamente por dos caracteres vegetativos de la planta (Cuadro 4.7).

Con base en las variables de mayor aportación a la variabilidad general, los patrones de diversidad existentes entre las poblaciones evaluadas, parecen

estar determinados por variación en caracteres vegetativos de la planta, espiga, mazorca y grano.

La dispersión de las 90 poblaciones de maíz pertenecientes a siete grupos raciales, con base en los dos primeros componentes principales, se representa en la Figura 4.3; en ella se pueden definir dos grandes complejos en base a la forma de mazorca: Cónico (Transición-Altura) y Cilíndrico (alturas Bajas-Intermedias).

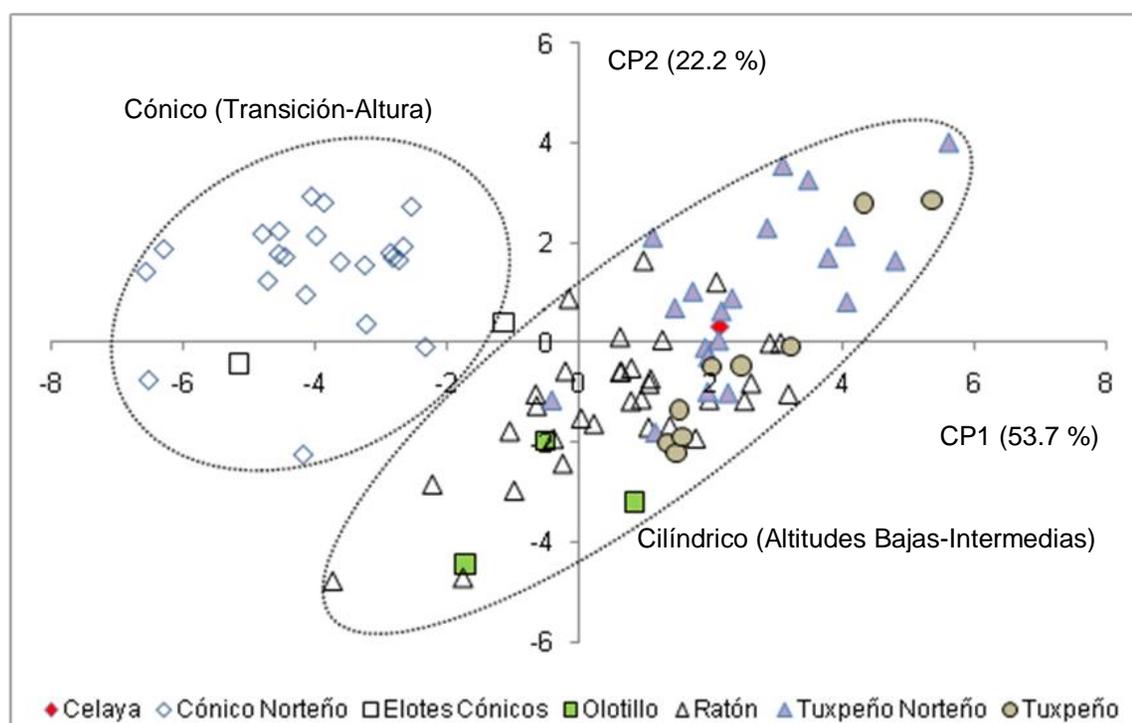


Figura 4.3. Dispersión de 90 poblaciones de maíz conformadas por siete grupos raciales, en base a los dos primeros componentes principales del análisis de variables morfológicas.

El complejo Cónico se encuentra distribuido en su mayor parte en el extremo superior izquierdo de la Figura 4.3, y se compone por las razas Cónico

Norteño y Elotes Cónicos; en base a la altitud del sitio de procedencia este complejo se encuentra distribuido en zonas intermedias, de transición y altura en el sureste de Coahuila (Cuadro 3.1). Sin embargo, el complejo Cilíndrico constituido por el resto de las razas, muestra mayor dispersión y traslape entre ellas, por lo que dentro de este complejo no se logra apreciar grupos definidos de cada raza (Figura 4.3). Sin embargo, se puede dilucidar que este complejo cuenta con un patrón continuo de la variación de la raza Ratón al grupo racial Tuxpeño Norteño. De acuerdo a la altitud de procedencia Cuadro 3.1, estas razas se encuentran distribuidas principalmente en alturas bajas e intermedias.

Análisis de conglomerados

En la Figura 4.4 se presenta el dendrograma de la diversidad genética de 90 poblaciones de maíz, utilizando como medida de distancia, el complemento del coeficiente de correlación ($c = 1 - r$). Al considerar una distancia de 1.1, se determinan dos grandes grupos. En la parte superior de la Figura, se agrupan 25 colectas que conforman el complejo Cónico (Transición-Altura), es decir, en este conjunto la raza predominante es Cónico Norteño y en menor proporción Elotes Cónicos. La presencia de las colectas clasificadas como Elotes Cónicos en este grupo, demuestra la estrecha relación de estos maíces eloterios con la raza Cónico; que de acuerdo con Wellhausen *et al.* (1951), son considerados como subraza del Cónico. En el segundo grupo de la parte inferior, se encuentran 65 poblaciones que forman el complejo Cilíndrico (altitudes Bajas-Intermedias). Se puede indicar que hay una congruencia entre los resultados

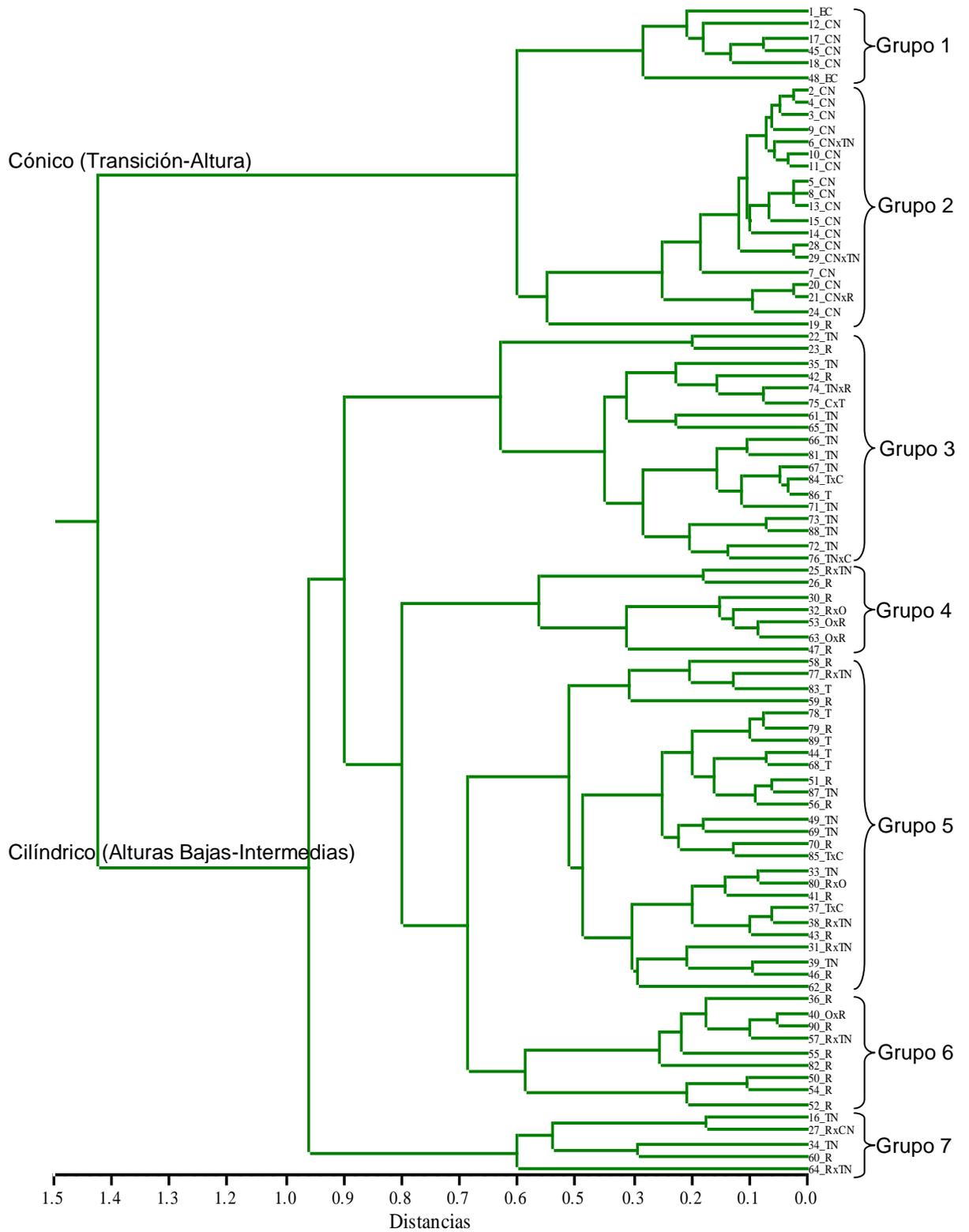


Figura 4.4. Dendrograma de 90 poblaciones de maíz conformadas por siete grupos raciales, utilizando el complemento del coeficiente de correlación y el método de agrupamiento por pares usando promedios aritméticos (UPGMA).

obtenidos por el análisis de componentes principales y este análisis de agrupamiento.

A una distancia de aproximadamente 0.6 (Figura 4.4) se pueden identificar siete grupos. La división del complejo Cónico tiene dos grupos: Grupo 1 Cónico Norteño (maíces de color) y Grupo 2 Cónico Norteño (maíces blancos cremosos); el complejo Cilíndrico se divide en cinco grupos: Grupo 3 (Tuxpeño Norteño), Grupo 4 (Ratón-Olotillo), Grupo 5 (Ratón-Tuxpeño), Grupo 6 (Ratón) y Grupo 7 (Intermedio). El promedio para los siete grupos, para los 16 caracteres, se presenta en el Cuadro 4.8.

Complejo Cónico (Transición-Altura)

Grupo 1 Cónico Norteño (maíces de color)

Este grupo se integra por seis poblaciones adaptadas a áreas de transición y de altura (mayor a los 1800 m); forma de la mazorca cónica-cilíndrica, cilíndrica; tipo de grano semi-dentado, semi-cristalino y dentado; color de grano azul oscuro, rojo oscuro y blanco cremoso; este grupo presenta en promedio características que lo distingue de los otros grupos raciales: menor longitud de hoja (78.82 cm) y por lo tanto menor índice de área foliar (471.17), menor número de ramificaciones de la espiga (11.17), menor número de granos por hilera (28.43) y mayor espesor de grano (0.44).

Cuadro 4.8. Promedios para 16 caracteres, de siete grupos identificados en 90 colectas de maíz, en base al análisis de conglomerados.

Gpo	# Col	Apta (cm)	Hamaz	Lhoja (cm)	laf	Esp	Hil	Ghil	Dmaz (cm)	Amg (cm)	Emg (cm)	Dolo (cm)	Desg (%)	Amazpta	Dolomaz	Algra	Eagra
1	6	207.28	4.24	78.82	471.17	11.17	13.80	28.43	4.36	0.84	0.44	2.34	0.85	0.52	0.54	0.69	0.53
2	19	233.95	4.31	79.17	496.29	13.45	15.47	31.24	4.42	0.76	0.40	2.19	0.87	0.58	0.49	0.59	0.53
3	18	259.71	5.37	93.49	625.40	19.46	14.70	34.82	4.90	0.89	0.39	2.97	0.81	0.61	0.60	0.73	0.44
4	7	230.45	5.06	87.13	560.51	16.81	12.66	37.72	4.24	0.87	0.36	2.26	0.86	0.57	0.53	0.71	0.42
5	26	224.38	5.07	87.26	580.50	17.03	13.15	35.50	4.65	0.92	0.38	2.76	0.84	0.56	0.59	0.76	0.41
6	9	192.16	4.83	79.26	495.86	15.32	12.80	33.62	4.21	0.86	0.37	2.40	0.85	0.52	0.57	0.75	0.43
7	5	218.26	5.49	87.57	591.55	13.70	14.42	34.93	4.67	0.88	0.40	2.66	0.85	0.52	0.57	0.71	0.46

Gpo = Grupos; # Col = Número de colectas por grupo; Apta = Altura de planta; Hamaz = Hojas arriba de la mazorca; Lhoja = Longitud de hoja; laf = Índice de área foliar; Esp = Número de ramificaciones de la espiga; Hil = Número de hileras en la mazorca; Ghil = Número de granos por hilera; Dmaz = Diámetro de mazorca; Amg = Ancho de grano; Emg = Espesor de grano; Dolo = Diámetro de olote; Desg = Porcentaje de desgrane; Amazpta = Altura de mazorca/Altura de planta; Dolomaz = Diámetro de olote/Diámetro de mazorca; Algra = Ancho de grano/Longitud de grano; Eagra = Espesor de grano/Ancho de grano.

Grupo 2 Cónico Norteño (maíces blancos cremosos)

Grupo constituido por 19 colectas adaptadas a áreas de altura y transición principalmente y áreas intermedias (mayor a 1000 m); forma de mazorca cónica-cilíndrica, cilíndrica y cónica; grano semi-dentado, dentado y semi-cristalino; color de grano blanco cremoso, amarillo medio, amarillo claro. Grupo con mayor número de hileras en la mazorca (15.47), mayor porcentaje de desgrane (0.87 %), pero con menor ancho de grano (0.76 cm), menor diámetro de olote (2.19 cm) y con las menores relaciones diámetro de olote/mazorca, ancho/longitud de grano con valores de 0.49 y 0.59, respectivamente.

Características similares que comparten los grupos del complejo Cónico (Transición-Altura) y que los distinguen del complejo Cilíndrico (alturas Bajas-Intermedias), son los valores menores para número de granos por hilera, ancho de grano y las relaciones ancho/longitud de grano y espesor/ancho de grano (Cuadro 4.8).

Complejo Mazorca Cilíndrica (alturas Bajas-Intermedias)

Grupo 3 Tuxpeño Norteño

Grupo formado con 18 colectas adaptadas a áreas bajas e intermedias (menor a 1800 m); forma de mazorca principalmente cilíndrica y en menor proporción cónica-cilíndrica; grano dentado, semi-dentado; color de grano

blanco cremoso, amarillo claro y blanco. De las poblaciones estudiadas es el grupo con mayor altura de planta (259.71 cm), así como la mayor relación altura de mazorca/altura de planta, mayor longitud de hoja (93.49 cm), mayor índice de área foliar (625.40), mayor número de ramificaciones de la espiga (19.46), también mayor diámetro de mazorca, diámetro de olote y por lo tanto mayor relación diámetro/longitud de mazorca (4.90, 2.97 cm y 0.60, respectivamente), sin embargo, este grupo presenta el menor porcentaje de desgrane (0.81 %).

Grupo 4 Ratón-Olotillo

Grupo integrado por siete poblaciones adaptadas a áreas intermedias (1001 a 1800 m); forma de mazorca cilíndrica, cónica-cilíndrica; granos de tipo semi-dentado y dentado; color de grano blanco cremoso; colectas con el menor número de hileras en la mazorca (12.66) similar al grupo 6 y menor espesor de grano (0.36 cm), sin embargo, el grupo presentó el mayor número de granos por hilera (37.72), debido a que presenta un ancho de grano intermedio (0.87 cm).

Grupo 5 Ratón-Tuxpeño

Grupo formado por 26 colectas adaptadas a áreas bajas a intermedias (menor a 1800 m); forma de la mazorca cilíndrica, cónica-cilíndrica; tipo de grano dentado, semi-dentado y semi-cristalino; color de grano blanco cremoso, amarillo medio, amarillo claro; presenta valores intermedios en el número de

ramificaciones de la espiga y diámetro de mazorca (17.03 y 4.65 cm, respectivamente), y los más altos valores para ancho de grano (0.92 cm) y la relación ancho/longitud de grano (0.76), pero la menor relación espesor/ancho de grano (0.41). También tiene características similares al grupo 4 como el número de hojas arriba de la mazorca y la longitud de hoja (Cuadro 4.8).

Grupo 6 Ratón

Grupo constituido por nueve colectas adaptadas a áreas bajas e intermedias (menor a 1800 m); forma de mazorca cilíndrica y cónica-cilíndrica; tipo de grano semi-dentado, dentado; color de grano blanco cremoso, amarillo claro y blanco; dentro de las poblaciones evaluadas, presentan la menor altura de planta (192.26 cm), número de espigas intermedio (15.32), número de hileras bajo (12.80) y menor diámetro de mazorca (4.21 cm), similar al grupo 4, así como un ancho y espesor de grano intermedio (0.86 y 0.37 cm, respectivamente).

Grupo 7 Intermedio

Grupo formado por cinco colectas adaptadas a áreas intermedias y de transición (1001 a 2000 m); forma de mazorca cilíndrica y cónica-cilíndrica; tipo de grano semi-dentado, dentado; color de grano blanco cremoso; colecta que presenta el mayor número de hojas arriba de la mazorca (5.49), con una longitud de hoja (87.57 cm) similar al grupo 4 y 5, así como con un número de

hileras en la mazorca y granos por hilera (14.42 y 34.93, respectivamente), también similar al grupo 3 y valores iguales al grupo 6 para las relaciones altura de planta/altura de mazorca y diámetro de olote/diámetro de mazorca (Cuadro 4.8).

En la Figura 4.5 se observa que dentro del complejo Cónico, el análisis de conglomerados permitió realizar la separación de los tipos de maíces de color de los de grano blanco cremoso (Figura 4.4; Cuadro 4.8); pero también se puede observar a tres poblaciones (3, 7 y 45 de la raza Cónico Norteño) que forman un sub-grupo, sin embargo, las colectas (3 y 7) del Grupo 2, se agrupan junto a los maíces de colores debido a que estas son las únicas colectas de colores dentro de este grupo (amarillo medio y amarillo claro, respectivamente).

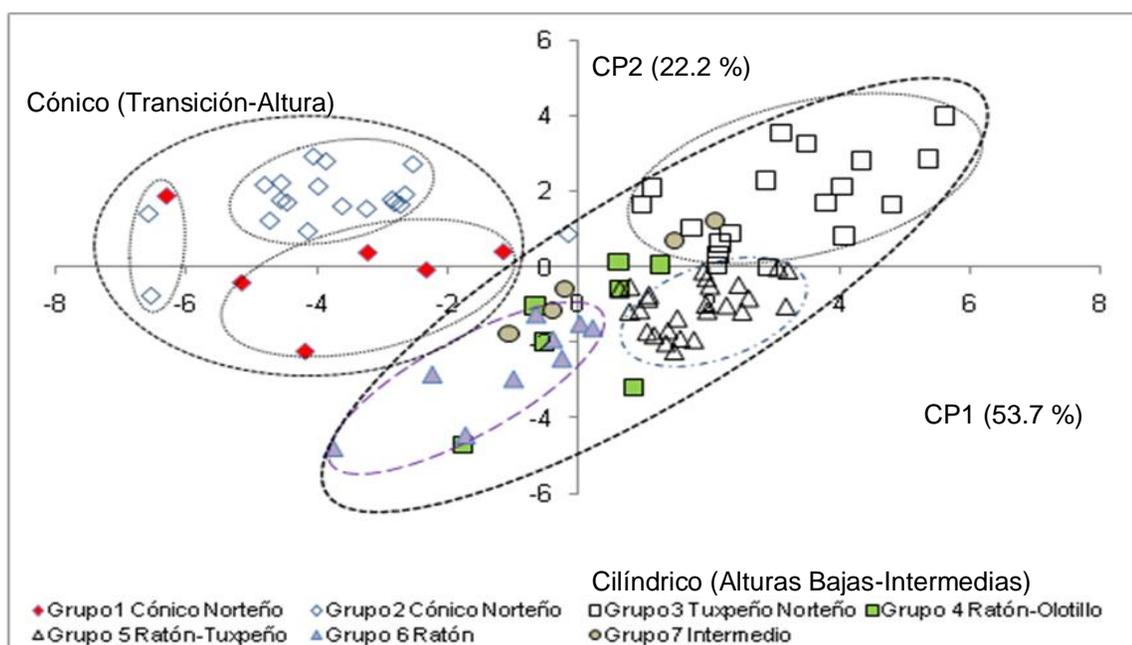


Figura 4.5. Dispersión de 90 poblaciones de maíz conformadas por siete grupos raciales, en base al análisis de conglomerados utilizando el complemento del coeficiente de correlación y el método de agrupamiento por pares usando promedios aritméticos (UPGMA).

Por otra parte, dentro del complejo mazorca cilíndrica (Ratón, Tuxpeño, Tuxpeño Norteño), se formaron cinco grupos que comparten características distintivas entre ellos (Figura 4.5). La distribución de los grupos corrobora un continuo de la diversidad de la raza Ratón a Tuxpeño Norteño la cual se alcanza a distinguir en la Figura 4.3. Sin embargo, el análisis de conglomerados permitió ordenar a las poblaciones de acuerdo a sus características morfológicas, lo cual pudiera estar indicando diferencias en la clasificación visual de las poblaciones. Es decir, se nota que la clasificación obtenida en la Figura 4.4, y su distribución en la Figura 4.5, relacionada con la clasificación visual de la mazorca (Figura 4.3) existen poblaciones (84 y 86) clasificadas como Tuxpeño y (75) como Celaya que deben ser clasificadas como Tuxpeño Norteño. Similarmente, las poblaciones clasificadas como Elotes Cónicos comparten características similares a Cónico Norteño.

Es importante señalar que la clasificación visual fue realizada a partir de las muestras colectadas y sólo en base a características de la mazorca, en tanto que la clasificación en grupos (Figura 4.4) proviene de la evaluación de las poblaciones en dos años, dos localidades con dos repeticiones y de acuerdo a caracteres apropiados para clasificación racial en maíz. Por lo tanto, el estudio sugiere un re-análisis de la clasificación de las poblaciones, aunque lo que se nota es un continuo de la variación entre poblaciones y entre grupos raciales debido posiblemente al intercambio de semilla y a la infiltración genética entre ellos (Cuadro 3.1).

CONCLUSIONES

Se determinó la respuesta de las poblaciones a los ambientes de evaluación, y de acuerdo a la agrupación en base a su procedencia altitudinal, los grupos tuvieron un comportamiento diferente debido a la diversidad de sitios de procedencia y de las combinaciones genéticas de las poblaciones dentro de grupos.

Las poblaciones nativas de maíz 19, 22, 34 y 61 mostraron adaptación a El Mezquite; las poblaciones 74, 76 y 88 a General Cepeda; y las poblaciones 35, 37, 38, 64, 66 y 81 mostraron estabilidad a través de localidades y años. Los grupos raciales con mayor potencial de rendimiento fueron Tuxpeño, Tuxpeño Norteño y Ratón.

El análisis de clasificación numérica permitió explorar la diversidad del maíz en Coahuila, se identificaron dos complejos: el complejo mazorca cónica representado por las razas Cónico Norteño y Elotes Cónicos (Transición y Altura) y el complejo mazorca cilíndrica representado por las razas Ratón, Tuxpeño y Tuxpeño Norteño (alturas Bajas e Intermedias).

Se encontró un continuo de variación entre y dentro de grupos raciales determinado por las combinaciones y formas intermedias entre ellos.

En el análisis de la diversidad del maíz se pueden identificar cuatro etapas: 1) la clasificación visual al momento de la colecta, 2) la evaluación y análisis de las interrelaciones entre grupos raciales, 3) el enfoque de la clasificación numérica de la diversidad del maíz y 4) el análisis de los grupos taxonómicos y sus interrelaciones.

Los caracteres morfológicos apropiados para el estudio de la diversidad genética de los maíces de Coahuila son: Altura de planta, número de hojas arriba de la mazorca, longitud de hoja, índice de área foliar, número de ramificaciones de la espiga, número de hileras en la mazorca, número de granos por hilera, diámetro de mazorca, ancho de grano, espesor de grano, diámetro de olote, porcentaje de desgrane, la relación altura de planta/altura de mazorca, diámetro de olote/diámetro de mazorca, ancho/longitud de grano y espesor/ancho de grano.

LITERATURA CITADA

Aguirre G., J. A., M. R. Bellon and M. Smale. 1998. A Regional Analysis of Maize Biological Diversity in Southeastern Guanajuato, Mexico. CIMMYT Economics Working Paper 98-06. México, D.F. CIMMYT. 17 p.

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.

Carballoso T., V., A. Mejía C., S. Balderrama C., A. Carballo C. y F. González C. 2000. Divergencia en poblaciones de maíz nativas de Valles Altos de México. *Agrociencia* 34: 167-174.

Castillo G., F. 1993. La variabilidad genética y el mejoramiento genético de los cultivos. *Ciencia*. No. especial: 69-79.

Castillo G., F., B. E. Herrera C., R. Ortega P., M. M. Goodman y M. E. Smith. 2000. Diversidad genética del maíz y su aprovechamiento *in situ* a nivel regional. *In*: Mejoramiento Participativo en América Latina y el Caribe. Disponible en línea <http://www.prgaprogram.org/cds/fmp/NADINE-PDF/CASTILLO2.pdf>.

Elings, A. 2000. Estimation of leaf area in tropical maize. *Agron. J.* 92: 436-444.

- García Z., J., J. Molina G. y 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.
- Goodman, M. M. and E. Paterniani. 1969. The races of maize: III. Choices of appropriate characters for racial classification. *Econ. Bot.* 23: 265-273.
- 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 (Núm. Especial 1): 27-31.
- 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.
- Herrera C., B. E. 1999. Diversidad genética y valor agronómico entre poblaciones de maíz de la raza Chalqueño. Tesis de D. C. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Edo. de México, México. 141 p.
- 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: 335-353.
- Herrera C., B. E., F. Castillo G., J. J. Sánchez G., J. M. Hernández C., R. Ortega P. y M. M. Goodman. 2004. Diversidad del maíz chalqueño. *Agrociencia* 38: 191-206.
- IBPGR. 1991. Descriptors for Maize. International Maize and Wheat Improvement Center. International Board for Plant Genetic Resources. Rome, Italy. 29 p.

IRRI (International Rice Research Institute). 2007. CropStat for Windows versión 7.2. Metro Manila, Philippines.

International Seed Testing Association (ISTA). 2009. International Rules for Seed Testing. The International Seed Testing Association (ISTA). Zürichstr.50 CH-8303 Bassersdorf, Switzerland. ISBN – 13 978-906549-53-8.

Márquez S., F. 2005. Consideraciones generales sobre el mejoramiento de maíces criollos. *In*: Márquez O., L. F. (ed). Memoria de la Primera Reunión de Mejoradores de Variedades Criollas de Maíz en México. Exhacienda Nazareno, Xoxocotlán, Oax. 22-23 de Septiembre de 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: 331-340.

Mercer K., A. Martínez V. and H. R. Perales. 2008. Asymmetrical local adaptation of maize landraces along an altitudinal gradient. *Evolutionary Applications* 1 (3): 489-500.

Montenegro T., H., F. Rincón S., N. A. Ruíz T., H. De León C. y G. Castañón N. 2002. Potencial genético y aptitud combinatoria de germoplasma de maíz tropical. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 135-142.

Nava P., F., J. A. Mejía C., F. Castillo G. y J. D. Molina G. 2000. Evaluación de maíces precoces e intermedios en Valles Altos Centrales de México. I. Poblaciones sobresalientes. *Rev. Fitotec. Mex.* 23: 119-128.

- 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. A. y J. J. Sánchez G. 1989. Aportaciones al estudio de la diversidad de maíz de las partes altas de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 12: 105-119.
- Ortega P., R. A., J. J. Sánchez G., F. Castillo G. y J. M. Hernández C. 1991. Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México. *In: Avance del Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México*. Ortega P. R., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H. y M. Livera M. (eds). SOMEFI. Chapingo, México. pp: 161-185.
- Pecina M., J. A., M. C. Mendoza C., J. A. López S., F. Castillo G. y M. Mendoza R. 2009. Respuesta morfológica y fenológica de maíces nativos de Tamaulipas a ambientes contrastantes de México. *Agrociencia.* 43: 681-694.
- Rincón S., F., B. Johnson., J. Crossa and S. Taba. 1996. Cluster analysis, an approach to sampling variability in maize accesions. *Maydica* 41:307-316.
- Rincón S., F., C. J. Hernández P., F. Zamora C. y J. M. Hernández C. 2010a. Recolección de maíces nativos de Coahuila 2008. *In: Diversidad y Distribución de los Maíces Nativos en Coahuila, México*. Rincón S. F., F. Castillo G. y N. A. Ruiz T. (eds). SOMEFI. Chapingo, Méx. pp: 4-12.
- Rincón S., F., F. Castillo G. y N. A. Ruiz T. 2010b. Diversidad y distribución de los maíces nativos en Coahuila, México. SOMEFI. Chapingo, Méx. 116 p.
- Rohlf F., J. 2009. NTSYS-pc. Numerical Taxonomy System. Version 2.21h for Windows. Exeter Software. Setauket, New York.

- SAGARPA-SIAP. 2007. Situación Actual y Perspectivas del Maíz en México 1996-2012. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México. 131 p.
- SAGARPA-SIAP. 2010. Agricultura: Producción Anual (1994– 2008). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Disponible en línea <http://www.siap.gob.mx>. (Verificado el 18 de Agosto de 2010).
- SAS Institute. 2004. SAS/STAT[®] 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 5121 p.
- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman and J. O. Rawlings. 1993. Appropriate characters for racial classification in maize. *Econ. Bot.* 47: 44-59.
- Sánchez G., J. J., M. M. Goodman, and C. W. Stuber. 2000a. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54: 43-59.
- Sánchez G., J. J., C. W. Stuber and M. M. Goodman. 2000b. Isozymatic diversity in the races of maize of the Americas. *Maydica* 45: 185-203.
- Silva C., E. G. 1992. Estudio agronómico y taxonómico de colecciones de la raza de maíz "Cónico", su colección central y perspectivas de uso en el mejoramiento genético. Tesis de M.C. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México. 116 p.
- Sneath, P. H. A. and R. R. Sokal. 1973. Numerical taxonomy. The principles and practice of numerical classification. W. H. Freeman and Company. San Francisco. 573 p.
- Yan, W. 2007. GGEbiplot Pattern Explorer. The Complete Biplot Analysis System. Version 6.3 Ontario, Canada.

Yan W., and M. S. Kang. 2003. GGE Biplot analysis. A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press LLC, New York. 271p.

Yan W., and N. A. Tinker. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Can. J. of Plant Sci.* 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.

POTENCIAL DE RENDIMIENTO DE POBLACIONES CRIOLLAS DE MAÍZ DE COAHUILA, MÉXICO

YIELD POTENTIAL OF MAIZE LANDRACES FROM COAHUILA, MÉXICO

Luis A. Nájera Calvo¹, Froylán Rincón Sánchez^{1*}, Norma A. Ruíz Torres² y Fernando Castillo González³

¹Departamento de Fitomejoramiento y ²Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas (CCDTS), Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila. Tel. (844) 4110220. ³Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carr. México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

* Autor para correspondencia (frincon@uaaan.mx)

RESUMEN

Las poblaciones y tipos de maíces (*Zea mays* L.) adaptados a condiciones de temporal o secano poseen atributos que pueden ser útiles en el mejoramiento genético. En el Estado de Coahuila, México, se ha identificado la presencia de siete grupos raciales. El objetivo del presente trabajo fue evaluar agrónomicamente y determinar el potencial de rendimiento de grano de 90 poblaciones de maíces criollos recolectados en el Estado de Coahuila. La evaluación agronómica se hizo en 2008 y 2009, en dos localidades: El Mezquite, Galeana, Nuevo León (1890 m) y General Cepeda, Coahuila (1350 m). La combinación de años y localidades fue considerada como cuatro ambientes (MEZ08, MEZ09, GC08 y GC09). Las poblaciones fueron agrupadas de acuerdo con la altitud de procedencia en: bajas (0 a 1000 m), intermedias (1001 a 1800 m), transición (1801 a 2000 m) y de altura (más de 2000 m). Los resultados mostraron diferencias ($P \leq 0.01$) entre grupos raciales y en la interacción grupos x ambientes, para floración masculina y rendimiento de grano; también se encontraron diferencias ($P \leq 0.01$) entre poblaciones dentro de grupos y en poblaciones dentro de grupo x ambientes. El análisis de la interacción poblaciones x ambientes permitió identificar tres grupos según su adaptación a las localidades: el primero, con adaptación a El Mezquite (33.3 %), el segundo a General Cepeda (42.2 %), y el tercer grupo (24.4 %) con estabilidad a través de ambientes. Las poblaciones 19, 22, 34 y 61 tuvieron adaptación a El Mezquite; las poblaciones 74, 76 y 88 a General Cepeda; y las poblaciones 35, 37, 38, 64, 66 y 81 mostraron estabilidad a través de ambientes. Los grupos raciales con mayor potencial de rendimiento fueron Tuxpeño, Tuxpeño Norteño y Raton.

Recibido: 09 de Febrero del 2010.
Aceptado: .

Palabras clave: *Zea mays*, evaluación de germoplasma, diversidad genética, poblaciones criollas.

SUMMARY

Types and populations of maize (*Zea mays* L.) adapted to rain fed conditions have attributes that maybe useful for plant breeding. Seven racial groups have been identified in the State of Coahuila, México. In this research we evaluated agronomic traits, and grain yield potential of 90 maize populations collected in the State of Coahuila. The evaluation was performed at two locations: El Mezquite, Galeana, Nuevo León (1890 m) and General Cepeda, Coahuila (1350 m). The locations x years combination was considered as four environments (MEZ08, MEZ09, GC08, GC09). Populations were grouped according to the provenance altitude: low (0 to 1000 m), intermediate (1001 to 1800 m), transition (1801 a 2000 m) and high (higher than 2000 m). Results showed differences ($P \leq 0.01$) among groups and among groups x Environments interaction, for male flowering and grain yield; differences ($P \leq 0.01$) between populations were also found within groups and populations within group x environments. The populations x environments interaction analysis allowed the identification of three groups according adaptation to localities: the first one was adapted to El Mezquite (33.3 %), the second one to General Cepeda (42.2 %), and the third group (24.4 %) had stability across environments locations. Populations 19, 22, 34 and 61 were adapted to El Mezquite; populations 74, 76 and 88 to General Cepeda; and populations 35, 37, 38, 64, 66 and 81 had stability across environments. The racial groups with highest yield potential were Tuxpeño, Tuxpeño Norteño and Raton.

Index words: *Zea mays*, germplasm evaluation, genetic diversity, landrace populations.

INTRODUCCIÓN

En México, el maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo agrícola más importante desde el punto de vista alimentario, industrial y social (SAGARPA-SIAP, 2007), y en el país se encuentra la mayor riqueza genética documentada en los diferentes complejos raciales (Wellhausen *et al.*, 1951). La variación genética está estrechamente relacionada con las condiciones ambientales de producción, así como con la diversidad de usos que se da al maíz, especialmente al grano (Hernández y Esquivel, 2004).

El conocimiento de la variación morfológica y genética, su relación con el ambiente y el impacto social determinan la estrategia de conservación y aprovechamiento de la diversidad genética del maíz (Ortega *et al.*, 1991). La variación genética permite integrar poblaciones de amplia base genética, las cuales sirven como material base en los programas de mejoramiento genético para incrementar el rendimiento y caracteres agronómicos de interés si son incorporados a nuevas variedades mejoradas sintéticas o híbridos (García *et al.*, 2002). Sin embargo, el uso real de la variación genética es muy limitado, pues de las 50 razas de maíz reportadas solamente se utilizan cuatro en mejoramiento genético: Chalqueño en la Mesa Central,

Tuxpeño en el Trópico seco y húmedo, Cónico para zonas con problemas pluviales de la Mesa Central, y Celaya para El Bajío y zonas similares (Márquez, 2005).

La preocupación por la pérdida de la diversidad ha dado lugar a investigaciones destinadas a describir y comprender los factores que influyen en la diversidad de las poblaciones de maíz de los agricultores mexicanos (Aguirre *et al.*, 1998).

La recolección y estudio de los maíces criollos mexicanos han sido motivados por diversas causas: contar con fuentes de germoplasma para mejoramiento genético, entender la agricultura mexicana de autoconsumo, realizar estudios biológicos básicos para entender el proceso evolutivo, realizar evaluaciones preliminares, y aplicar técnicas de premejoramiento (Hernández y Esquivel, 2004). Históricamente se han hecho colectas de maíces nativos en la mayor parte de las regiones importantes de México (Wellhausen *et al.*, 1951). Adicionalmente, la información disponible en los bancos de germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), más otros trabajos adicionales, documentan la presencia de por lo menos cuatro grupos raciales en Coahuila: Cónico Norteño, Tuxpeño, Ratón y Tuxpeño Norteño. El objetivo del presente trabajo fue evaluar agrónomicamente y determinar el potencial de rendimiento de 90 poblaciones de maíces criollos recolectadas en Coahuila.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético utilizado en el estudio proviene de la colecta de 90 poblaciones de maíces realizada en 2008 en 23 municipios productores de maíz en el Estado de Coahuila, México. La clasificación preliminar identificó a siete grupos raciales: Celaya, Cónico Norteño, Elotes Cónicos, Olotillo, Ratón, Tuxpeño y Tuxpeño Norteño, con 1, 22, 2, 3, 33, 9 y 20 poblaciones, respectivamente.

Las poblaciones fueron colectadas en altitudes de 248 a 2557 m, y agrupadas de acuerdo con la altitud de procedencia en: bajas (0 a 1000 m), intermedias (1001 a 1800 m), transición (1801 a 2000 m) y de altura (más de 2000 m) (Cuadro 1).

La evaluación agronómica se llevó a cabo en 2008 y 2009 en dos localidades: El Mezquite, Galeana, N. L. (1890 m; 25° 05' LN; 100° 42' LO) y General Cepeda, Coah. (1350 m; 25° 26' LN; 101° 27' LO), en condiciones de riego. La combinación de años y localidades fue considerada como cuatro ambientes de evaluación (MZ08, MZ09, GC08 y GC09, respectivamente). Las poblaciones se establecieron en experimentos repetidos en surcos de 4 m de largo, con una distancia entre plantas de 0.2 m y distancia entre surcos de 0.92 m en El Mezquite, y de 0.80 m en General Cepeda, en los dos años. Se utilizó un diseño de bloques incompletos con arreglo α -látice (Barreto *et al.*, 1997), con dos repeticiones dentro de localidades x años. Los experimentos fueron generados con el paquete CropStat (IRRI, 2007).

Las variables analizadas en el presente documento fueron: días a floración masculina (FM), altura de planta (AP) y rendimiento de grano (REND, en t ha⁻¹ y ajustado a 15 % de humedad). Se hizo un análisis de varianza mediante el paquete SAS (SAS Institute, 2004), donde se probaron los efectos de grupos, poblaciones dentro de grupos, y las interacciones con los ambientes de evaluación. En el análisis de varianza, los ambientes, grupos y la interacción grupos x ambientes fueron considerados efectos fijos, y el resto como efectos aleatorios. En la comparación de medias, se utilizó como criterio de selección de poblaciones al valor superior a la $\mu + 2$ el error estándar. Los datos de repeticiones, localidades y años (MEZ08, MEZ09, GC08 y GC09) se usaron para el análisis de la interacción poblaciones x ambientes, mediante un análisis de dispersión gráfica (Yan y Tinker, 2006; Yan, 2007).

Cuadro 1. Clasificación de razas de maíz en grupos, y número de poblaciones por grupo, con base en la altitud del sitio de colecta, Coahuila, México, 2008.

Raza	Grupos (por altitud, en m)				Total
	Baja (B) (< 1000)	Intermedia (I) (1001 - 1800)	De transición (T) (1801 - 2000)	De altura (A) (> 2001)	
Celaya	1				1
Cónico Norteño		2	7	13	22
Elotes Cónicos			1	1	2
Olotillo		3			3
Ratón	9	23	1		33
Tuxpeño	7	2			9
Tuxpeño Norteño	11	8	1		20
Total	28	38	10	14	90

Cuadro 2. Cuadros medios del análisis de varianza de las 90 poblaciones evaluadas en cuatro ambientes en 2008 y 2009.

Fuente de variación	gl	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)	Floración masculina (d)	Altura de planta (cm)
Ambientes (Amb)	3	195.2 **	26217.6 **	25942.6 **
Repeticiones (Rep) /Amb	4	3.2	57.9	1052.8
Bloques/(Rep x Amb)	52	1.8 *	29.7 **	682.0 **
Grupos (Gpo)	3	126.6 **	4241.9 **	12962.0 *
Poblaciones (Pob)/Gpo	86	6.4 **	217.2 **	4242.2 **
Gpo x Amb	9	33.6 **	263.4 **	842.2 **
Pob / (Gpo x Amb)	258	1.8 **	19.8 **	320.0 **
Error	304	1.2	13.5	245.1
CV(%)		19.4	4.2	6.8

*, **, Significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente. gl = grados de libertad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se detectaron diferencias ($P \leq 0.01$) entre grupos y efecto de la interacción grupos x ambientes para floración masculina y rendimiento de grano. También se encontró diferencia ($P \leq 0.01$) entre poblaciones dentro de grupos y entre poblaciones dentro de grupo x ambientes (Cuadro 2). Lo anterior indica la existencia de diversidad genética entre poblaciones adaptadas a áreas ecológicas específicas (Cuadro 1).

Las principales razas representadas fueron Ratón, Cónico Norteño y Tuxpeño Norteño, las cuales cuentan con una distribución amplia; el resto de las razas constituye un componente importante en cada una de las regiones ecológicas. Aun cuando se encontró una distribución amplia de los grupos raciales, el comportamiento agronómico de las poblaciones mostró un patrón asociado con el origen y condiciones de adaptación. La raza Cónico Norteño cuenta con adaptación entre el área de transición y de altura, en tanto que las razas Ratón y Tuxpeño Norteño se adaptan a las áreas de bajas a intermedias, principalmente (Cuadro 1). Según Castillo (1993), la variabilidad genética se puede estudiar para determinar la dirección de su aprovechamiento, para lograr un mejor uso de los genotipos y relacionarlos con su área de adaptación.

Las poblaciones evaluadas tuvieron un comportamiento diferente ($P \leq 0.01$) en los ambientes de evaluación, lo cual era de esperarse por la diversidad de sitios de procedencia y de las combinaciones genéticas presentes en ellas. La respuesta de interacción poblaciones x ambientes (Figura 1), puede ser útil para identificar a las poblaciones con adaptación específica a las condiciones de los sitios incluidos en el estudio. La Figura 1 representa la dispersión de las poblaciones con respecto a los años de evaluación y localidades (MZ08, MZ09, GC08 y GC09, respectivamente), con una explicación de 86.1 % de la

variación total en el rendimiento de grano. En el eje de las abscisas se indica el rendimiento promedio de las poblaciones, en tanto que el eje de las ordenadas comprende a la respuesta específica de las poblaciones en los ambientes de evaluación (Yan y Tinker, 2006).

El ángulo que forman los vectores de los ambientes a partir del origen, indica el nivel de asociación entre ellos. Por tanto, los vectores asociados a cada ambiente (localidad x año) están estrechamente relacionados (ángulo menor a 30°), en tanto que entre las dos localidades, los ambientes muestran un comportamiento independiente entre ellos (ángulo de aproximadamente 90°). La ubicación de las poblaciones en las ordenadas con dirección alejada del origen, indican la respuesta positiva al ambiente específico; por tanto, las poblaciones ubicadas cerca de la línea paralela a las abscisas, son consideradas como estables en rendimiento de grano a través de ambientes (localidades x años) (Yan y Tinker, 2006).

De esta manera se puede identificar a tres grupos de acuerdo con su adaptación: el primero, con adaptación a El Mezquite (valores positivos en la ordenada) con 30 poblaciones (33.4 %); el segundo a la localidad de General Cepeda (valores negativos en la ordenada), con 38 poblaciones (42.2 %); y un tercer grupo de 22 poblaciones (24.4 %), con estabilidad a través de las dos localidades y dos años evaluados. La interacción poblaciones x ambientes (Figura 1) indica que el comportamiento promedio de los grupos raciales resultó asociado con los ambientes de evaluación. En El Mezquite, las razas con un comportamiento aceptable fueron Cónico Norteño (20.0 %), Ratón (6.7 %) y Tuxpeño Norteño (5.6 %); en General Cepeda, las razas Ratón (17.8 %), Tuxpeño Norteño (12.2 %) y Tuxpeño (8.9 %); en el grupo de poblaciones estables, sobresale la raza Ratón (12.2 %), Cónico Norteño (4.4 %) y Tuxpeño Norteño (4.4 %) (Figura 1).

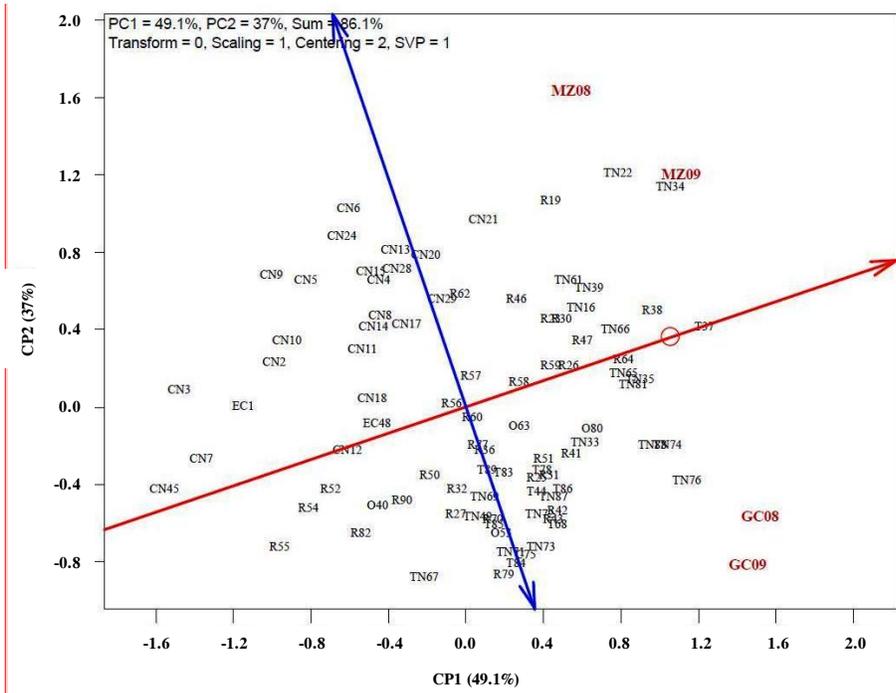
Con base en el rendimiento promedio a través de ambientes, se identificó a las mejores poblaciones (Cuadro 3). Estas poblaciones son las que se encuentran con valores positivos en el eje de las abscisas (Figura 1), y corresponden principalmente a la raza Tuxpeño Norteño, la combinación de Tuxpeño Norteño con Ratón y Celaya; cuatro poblaciones de la raza Ratón y una de Tuxpeño; las combinaciones Ratón x Olotillo, Tuxpeño Norteño y Tuxpeño x Celaya. Entre los materiales estables y con buen potencial de rendimiento sobresalen las poblaciones 37 (Tuxpeño x Celaya), 66, 81, y 35 de la raza Tuxpeño Norteño y las poblaciones 38 y 64 (Ratón x Tuxpeño Norteño). De la misma manera, las poblaciones 19, 22, 34 y 61 tuvieron adaptación a la localidad El Mezquite, y en sentido opuesto las poblaciones 74, 76 y 88 con adaptación a General Cepeda (Figura 1).

La madurez de las poblaciones identificadas en el Cuadro 3 se ubica principalmente alrededor de la media

poblacional, excepto las poblaciones 76, 81 y 86 que son las más tardías. El análisis de los días a floración masculina permitió identificar a cinco poblaciones precoces y con buen potencial de rendimiento (Cuadro 3). Estas poblaciones son de la raza Ratón (50, 52 y 54) y Cónico Norteño (12 y 17), y pueden ser utilizadas como fuente de precocidad en el mejoramiento genético.

CONCLUSIONES

Las poblaciones criollas de maíz 19, 22, 34 y 61 mostraron adaptación a El Mezquite; las poblaciones 74, 76 y 88 a General Cepeda; y las poblaciones 35, 37, 38, 64, 66 y 81 mostraron estabilidad a través de localidades y años. Los grupos raciales con mayor potencial de rendimiento fueron Tuxpeño, Tuxpeño Norteño y Ratón.



Comentario [-1]: indicar en leyenda el significado de las líneas con flechas, quitar de la imagen toda la leyenda pc1 = 49 %, etc.

Figura 1. Interacción poblaciones x ambientes de evaluación, del rendimiento de grano de 90 poblaciones de maíz evaluadas en dos localidades de Coahuila, México, durante 2008 y 2009 (MZ08, MZ09, GC08 y GC09). Los puntos representan al grupo racial (letra) y a la población (número). C = Celaya; CN = Cónico Norteño; EC = Elotes Cónicos; O = Olotillo; R = Ratón; T = Tuxpeño; TN = Tuxpeño Norteño.

Cuadro 3. Medias de rendimiento de grano y floración masculina de las poblaciones de maíz con mayor rendimiento a través de ambientes de evaluación, en 2008 y 2009.

Población	Grupo	Raza	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)					Floración masculina (d)			
			Promedio	GC08	GC09	MZ08	MZ09	GC08	GC09	MZ08	MZ09
COAH-037	I	T×C	8.02 *	6.22 *	8.26 *	6.22	11.37 *	81.0	77.5 *	106.0 *	107.0
COAH-076	B	TN×C	7.82 *	7.07 *	9.72 *	6.08	8.40	85.5 *	80.5 *	111.5 *	116.0 *
COAH-034	I	TN	7.82 *	5.63	6.87	8.67 *	10.09 *	78.0	70.5	94.0	101.0
COAH-038	B	R×TN	7.77 *	6.27 *	7.22 *	8.03 *	9.56 *	85.5 *	73.0	105.0 *	105.0
COAH-081	B	TN	7.65 *	5.63	8.21 *	6.01	10.74 *	89.0 *	84.5 *	111.5 *	121.0 *
COAH-074	B	TN×R	7.54 *	5.65	9.48 *	5.62	9.42 *	78.0	77.0 *	108.5 *	111.5 *
COAH-088	B	TN	7.50 *	8.88 *	6.64	5.78	8.72	80.0	73.0	108.0 *	108.5 *
COAH-022	I	TN	7.47 *	6.74 *	4.13	8.90 *	10.13 *	79.0	75.0 *	98.0	99.0
COAH-035	I	TN	7.40 *	6.74 *	7.42 *	7.34 *	8.10	83.0 *	72.0	103.5	111.0 *
COAH-065	I	TN	7.34 *	5.81	7.89 *	6.97	8.68	83.0 *	79.0 *	104.0	110.5 *
COAH-066	I	TN	7.29 *	7.22 *	5.71	7.05	9.16 *	80.0	73.0	103.5	103.0
COAH-064	I	R×TN	7.23 *	6.24 *	6.99	6.20	9.50 *	82.5 *	73.5	101.5	102.0
COAH-039	B	TN	7.13 *	7.40 *	4.93	8.68 *	7.50	81.5 *	79.0 *	100.0	111.0 *
COAH-061	I	TN	6.96 *	5.26	5.76	7.77 *	9.04 *	76.5	72.0	92.0	101.0
COAH-019	T	R	6.89 *	6.09	4.32	9.57 *	7.60	81.0	77.0 *	94.0	98.0
COAH-086	B	T	6.85 *	5.88	8.28 *	5.46	7.78	90.0 *	87.5 *	118.0 *	128.0 *
COAH-080	B	R×O	6.83 *	5.70	7.69 *	5.75	8.21	79.0	69.0	98.5	106.0
COAH-016	T	TN	6.81 *	5.74	5.73	7.63 *	8.13	79.0	69.0	100.0	94.5
COAH-047	I	R	6.69 *	5.39	5.95	6.15	9.28 *	78.0	71.5	98.0	101.0
COAH-033	B	TN	6.66 *	6.30 *	7.02	5.76	7.56	79.0	73.0	98.5	107.0
COAH-026	I	R	6.61 *	5.61	5.98	5.68	9.17 *	79.0	70.0	102.0	97.5
COAH-030	I	R	6.59 *	4.81	6.43	7.63 *	7.50	78.0	72.0	94.0	103.0
Precoces											
COAH-017	T	CN	5.20	2.86	4.43	6.45	7.07	67.0	67.0	78.0	88.0
COAH-050	I	R	5.18	4.01	5.78	4.63	6.28	72.0	59.5	87.0	91.5
COAH-012	A	CN	4.39	2.65	4.69	5.01	5.21	66.0	61.0	79.0	81.0
COAH-052	I	R	4.25	3.64	3.75	4.06	5.57	72.5	59.5	80.0	89.5
COAH-054	I	R	3.89	2.73	3.90	3.24	5.67	67.5	58.0	88.0	87.0
Media			5.76	4.77	5.44	5.71	7.13	77.8	71.0	96.6	102.0
EE			0.41	0.68	0.88	0.75	0.93	1.7	1.5	4.0	2.9
Máximo			8.02	9.75	10.95	10.43	13.43	92.0	88.0	145.0	134.0
Mínimo			2.59	0.59	1.13	2.56	2.71	65.0	57.0	78.0	80.0

GC08 y GC09 = General Cepeda 2008 y 2009; MZ08 y MZ09 = Mezquite 2008 y 2009; Raza: C= Celaya; CN=Cónico Norteño; O = Olotillo; R = Ratón; T = Tuxpeño; TN = Tuxpeño Norteño; Grupo: B = Bajo; I = Intermedio; T = Transición; A=Altura; * = Valores superiores a la $\mu + 2$ el error estándar; EE = Error estándar.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y al Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), por el financiamiento del proyecto de investigación a través del Sistema Nacional de Recursos

Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI)

BIBLIOGRAFÍA

Aguirre G J A, M R Bellon, M Smale (1998) A Regional Analysis of Maize Biological Diversity in Southeastern Guanajuato, Mexico. CIMMYT Economics Working Paper 98-06. CIMMYT, México, D.F. 17 p.

- 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: Proc. Symp. on Developing Drought- and Low N-Tolerant Maize.* G O Edmeades, M Bänziger, H R Mickelson, C B Peña-Valdivia (eds). El Batán, Mexico, March 25- 29, 1996. CIMMYT. Mexico, D. F. pp:544-551.
- Castillo F (1993)** La variabilidad genética y el mejoramiento de los cultivos. *Ciencia (México).* pp:69-79.
- 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.
- Hernández C J M, G Esquivel E (2004)** Rendimiento de grano y características agronómicas en germoplasma de maíz de valles altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 27 (Núm. Esp. 1):27-31.
- IRRI (2007)** CropStat for Windows 7.2.2007.3 1998-2007. International Rice Research Institute. Metro Manila, Philippines.
- Márquez S F (2005)** Consideraciones generales sobre el mejoramiento de maíces criollos. *In: Mem. Primera Reunión de Mejoradores de Variedades Criollas de Maíz en México.* L F Márquez O (ed). Exhacienda Nazareno, Xoxocotlán, Oax. 22-23 Sep. 2005. Centro Regional Universitario, Universidad Autónoma Chapingo. SOMEFI. Chapingo, Edo. de México. pp:153-162.
- Ortega P R A, J J Sánchez G, F Castillo G, J M Hernández C (1991)** Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México. *In: Avance en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México.* Ortega P R, G Palomino H, F Castillo G, V A González H, M Livera M (eds). SOMEFI. Chapingo, México. pp:161-185.
- SAGARPA-SIAP (2007)** Situación Actual y Perspectivas del Maíz en México 1996-2012. Talleres Gráficos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, México, D. F. 131 p.
- SAS Institute (2004)** SAS/STAT® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 5121 p.
- Yan W (2007)** GGEbiplot Pattern Explorer. The Complete Biplot Analysis System. Version 6.3 Ontario, Canada.
- Yan W, N A Tinker (2006)** Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications. *Can. J. Plant Sci.* 86:623-645.
- Wellhausen E J, L M Roberts, E Hernández X, en colaboración con Mangelsdorf (1951)** Razas de Maíz en México. Su Origen, Características y Distribución. Folleto Técnico 5. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D. F. 223 p.