

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y EFECTOS DE HETEROSIS ENTRE POBLACIONES DE MAÍZ DEL SURESTE DE COAHUILA, MÉXICO

CRISTOBAL ERVI BAUTISTA PÉREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN FITOMEJORAMIENTO**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
AGRARIA ANTONIO NARRO**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Junio, 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y EFECTOS DE HETEROSIS ENTRE
POBLACIONES DE MAÍZ DEL SURESTE DE COAHUILA, MÉXICO

TESIS

POR:

CRISTOBAL ERVI BAUTISTA PÉREZ

Tesis elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y
aprobada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN FITOMEJORAMIENTO

Comité Particular de Asesoría

Asesor Principal


Dr. Froylán Rincón Sánchez

Asesor


Dra. Norma Angélica Ruíz Torres

Asesor


Dr. Adalberto Benavides Mendoza


Dr. Fernando Ruíz Zárate
Subdirector de Posgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS**, por permitirme culminar de una manera decorosa una de las metas fijadas en mi vida.

Al **Dr. Froylán Rincón Sánchez**, por haberme dejado participar en su trabajo de investigación y sobretodo por la paciencia que tuvo para conmigo en la realización de este trabajo.

A la **Dra. Norma Angélica Ruíz Torres**, por su enseñanza y en la revisión del presente trabajo.

Dr. Adalberto Benavides Mendoza, por la revisión del presente trabajo.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)**, por ofrecerme una formación académica de calidad a través del Departamento de Fitomejoramiento y, por darme la oportunidad de ser parte de su planta docente.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el apoyo económico durante los 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 Filogenéticos para la Alimentación y Agricultura (**SINAREFI**).

A mis compañeros de generación y todos aquellos que han y seguirán conformando el Posgrado en Fitomejoramiento de la UAAAN, por su amistad y compañerismo.

DEDICATORIA

A mis padres **Armando Bautista Morales y Francisca Pérez de la Cruz**, por sus muestras de amor, comprensión y por darme el ejemplo para ser una persona de bien además de estar conmigo en los momentos más difíciles que he pasado a través de mi formación académica como personal.

A mis **hermanos Elsy, Isaías, Manolo y Rolando**, que siempre se han preocupado por mí ayudándome moralmente, también por tener unida la familia a pesar de los tropiezos que nos da la vida.

A mis **abuelitos paternos Agustín † y Elena** quienes siempre están al pendiente de mí dándome consejos.

A mis **abuelos maternos Jacinto † y Roselia**, por brindarle el apoyo más que nada a mi madre en los momentos más difíciles.

A mi **amigo Oscar**, por su consejo que me ha dado para no darme por vencido ante los tropiezos que tiene la vida.

COMPENDIO

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y EFECTOS DE HETEROSIS ENTRE POBLACIONES DE MAÍZ DEL SURESTE DE COAHUILA, MÉXICO

POR
CRISTOBAL ERVI BUATISTA PÉREZ

MAESTRÍA EN CIENCIAS
FITOMEJORAMIENTO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO, JUNIO 2011

DR. FROYLÁN RINCÓN SÁNCHEZ--ASESOR--

Palabras clave: *Zea mays* L., cruzas, heterosis, poblaciones nativas.

En el estado de Coahuila, las siembras de maíz de temporal alcanzan en promedio 33,000 ha, donde el 85 % de esta superficie se encuentra al sureste de Coahuila que comprende los municipios de Arteaga, General Cepeda, Parras, Ramos Arizpe y Saltillo. El objetivo del presente trabajo fue estudiar el comportamiento agronómico y combinaciones entre 10 poblaciones sobresalientes de maíz. La evaluación agronómica se realizó en el año 2008 en

dos localidades: El Mezquite, Galeana, N.L. (1850 m) y General Cepeda, Coah., (1350 m). Al evaluar las características agronómicas se encontraron diferencias ($P \leq 0.01$) entre las 10 poblaciones así como en las cruzas intervarietales. Se encontró un valor promedio de heterosis entre poblaciones nativas de 12.2 % (0.562 t ha^{-1}), con valores máximos de 42.8 % en la crusa 1004x1003 lo que sugiere usar cruzas intervarietales como alternativa para incrementar la productividad en áreas de temporal. El análisis de interacción de las cruzas x ambientes permitió identificar tres grupos de acuerdo con su adaptación y rendimiento: el primero, con adaptabilidad para General Cepeda (18.2 %), el segundo adaptado para la localidad El Mezquite (27.3 %) así como un tercer grupo (54.5 %) con estabilidad a través de ambientes. Las poblaciones 1005 y 1001 fueron las más sobresalientes a través de ambientes, con rendimientos de 6.047 y 5.687 t ha^{-1} respectivamente, por lo que pueden utilizarse en esquemas de selección recurrente para explotar su comportamiento *per se*.

ABSTRACT

AGRONOMIC PERFORMANCE AND HETEROSIS EFFECTS AMONG MAIZE POPULATIONS FROM THE SOUTHEAST OF COAHUILA, MEXICO

By
CRISTOBAL ERVI BUATISTA PÉREZ

MAESTRÍA EN CIENCIAS
FITOMEJORAMIENTO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO, JUNE 2011

DR. FROYLÁN RINCÓN SÁNCHEZ--ADVISOR--

Keys Words: *Zea mays* L., crosses, heterosis, native populations.

In the State of Coahuila, maize sowing under rain fed conditions reaches on average 30,000 ha, where the 85 % of this surface is to the south-east of Coahuila, which includes the municipalities of Arteaga, General Cepeda, Parras, Ramos Arizpe, and Saltillo. The objective of the present work was to study the agronomic performance and combinations among 10 outstanding maize populations. The agronomic evaluation was carried out in 2008 in two locations:

El Mezquite, Galeana N.L. (1850 m) and General Cepeda, Coahuila (1350 m). In the evaluation of the agronomic characteristics there were differences ($P \leq 0.01$) among the 10 populations, as well as among the intervarietal crosses. An average value of heterosis among native populations of 12.2 % (0.562 t ha^{-1}) was found, with maximum values of 42.8 % in the 1004x1003 cross, suggesting that the use of intervarietal crosses as an alternative to increase productivity in rainfed conditions. The crosses x environments interaction analysis allowed to identify three groups, according with its adaptation and yield: the first with adaptability for General Cepeda (18.2 %), the second adapted to the locality El Mezquite (27.3 %) as well as a third group (54.5 %) with stability through environments. Populations 1005 and 1001 were the most outstanding cross environments, with yield 6.047 and 5.687 t ha^{-1} respectively, therefore they can be used in recurrent selection schemes to exploit their performance *per se*.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE CUADROS	xi
ÍNDICE DE FIGURA	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
Importancia del maíz	3
Selección.....	4
Cruzas intervarietales.....	6
Heterosis	7
Efectos recíprocos.....	9
III. MATERIALES Y MÉTODOS	11
Material genético.....	11
Ubicación del sitio experimental.....	12
Diseño experimental.....	13
Fechas de siembra.....	13
Fertilización	13
Labores culturales	14
Variables a considerar.....	14
Análisis de la información.....	17
Cálculo de heterosis.....	18
Análisis de Interacción de las Poblaciones y Cruzas en Ambientes.....	18
Cálculo de las medias	19

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
Análisis de varianza general.....	20
Análisis de heterosis	23
Interacción de las Poblaciones y Cruzas en Ambientes de Evaluación	26
Potencial de rendimiento de las mejores cruzas	29
V. CONCLUSIONES.....	33
LITERATURA CITADA	34

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 3.1. Genealogía del material utilizado para producir las progenies evaluadas en las poblaciones.....	11
Cuadro 3.2. Localización geográfica y condiciones agroecológicas de las localidades utilizadas en el estudio.....	12
Cuadro 4.1. Cuadros medios del análisis de varianza, de cuatro variables agronómicas de 100 genotipos de maíz evaluados en primavera verano 2008.....	21
Cuadro 4.2. Promedios de valores estimados de rendimiento ubicados arriba de la diagonal y heterosis debajo de la diagonal de 10 poblaciones de maíz evaluados en primavera verano 2008.....	24
Cuadro 4.3. Medias de rendimiento de grano y floración masculina de cruza y progenitores maíz a través de ambientes de evaluación.....	30

ÍNDICE DE FIGURA

	Página
Figura 4.1. Interacción de las poblaciones y cruzas x el ambiente de evaluación con base a su rendimiento de grano de 10 poblaciones y sus cruzas. MEZ1 y MEZ2= Mezquite; GC1 y GC2 = General, Cepeda; C1-C10= Poblaciones; 1x2-9x10= Cruzas sobresalientes.	27

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es la especie más cultivada en México y más importante debido al impacto social que tiene, al ocupar la mayor superficie de cultivo en áreas de temporal, la cual en el año 2008 se estimó en 6,016,058.12 hectáreas y con un rendimiento promedio de 2.42 t ha⁻¹ (SAGARPA-SIAP, 2008).

En el estado de Coahuila, las siembras de maíz de temporal para grano alcanzan en promedio 33,000 ha y, el 85 % de esta superficie se encuentra al sureste de Coahuila, que comprende los municipios de Arteaga, General Cepeda, Parras, Ramos Arizpe y Saltillo.

En el sureste de Coahuila se tiene un clima templado subhúmedo con lluvias escasas todo el año, la precipitación media anual es de 369.3 mm, y la temperatura promedio de 17 °C (INEGI, 2009). La importancia relativa del cultivo de maíz en el sureste de Coahuila es de un esquema de agricultura sustentable, donde se usan en la mayoría poblaciones criollas. Además, la producción de maíz para grano bajo las condiciones ambientales críticas, resaltan la necesidad de buscar alternativas para mejorar la productividad de este cultivo.

Se han realizado estudios preliminares los cuales muestran el potencial de las poblaciones adaptadas en el sureste de Coahuila, con base en cruza con probadores de amplia base genética (Rincón y Ruiz, 2010).

En el presente trabajo, se estudió el comportamiento *per se* de 10 poblaciones de maíz adaptadas a condiciones de temporal, así como las combinaciones híbridas entre ellas.

OBJETIVOS

- Estudiar el comportamiento agronómico y combinaciones entre poblaciones sobresalientes de maíz.
- Estimar los efectos de heterosis a partir de cruzamientos entre 10 poblaciones de maíz.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del maíz

De todos los cereales existentes, el maíz es el más importante del mundo, debido a que actualmente hay una tendencia creciente por la diversificación en el uso del maíz, ya que se puede utilizar para consumo humano y pecuario. Así como para la elaboración de algunas bebidas alcohólicas y otros productos utilizados como materia prima en las industrias minera, textil, electrónica, farmacéutica, alimentaria. En el año 2008 se obtuvo una producción de 725,276,261 toneladas de maíz (FAO, 2008). Los principales países productores de maíz son: Estados Unidos de América, que contribuyó con el 40 % de la producción mundial, seguido por China con el 19 %, Brasil con 6 % y México con 3 % (SAGARPA-SIAP, 2007) .

El maíz se cultiva en dos ciclos productivos: Primavera-Verano y Otoño-Invierno, bajo diversas condiciones agroclimáticas de humedad (temporal y riego). En México durante el año 2009 se produjo 20,142,815.76 toneladas de maíz. La superficie sembrada fue de 7,726,109.60 de hectáreas obteniendo un promedio de rendimiento de 3.24 t ha^{-1} . En lo que se refiere a la modalidad hídrica, el 81.75 % del total se cultivó en superficie de temporal, proporción que

representa 6.3 millones de hectáreas; mientras que 1,410,017.98 hectáreas se sembraron bajo condiciones de riego, que representa 18.25 % del total (SAGARPA-SIAP, 2009).

En el estado de Coahuila el cultivo del maíz en 2008 (SAGARPA-SIAP, 2008) ocupó el tercer lugar en importancia con 31,766.50 ha sembradas. Se produjeron 23,304.98 toneladas con un rendimiento promedio de 1.14 t ha⁻¹. Esto debido a que la mayoría de maíz es de temporal en el estado.

Selección

El material de partida de un mejorador, comúnmente son poblaciones de amplia base genética, la cual contiene una mezcla enorme de genotipos, quizás solo distinta a una población natural de la misma especie por la clase de genes que encierra. La selección natural se basa en que cuando aparece una modificación favorable de un carácter, por pequeña que sea, el individuo que la lleva se adaptará mejor a las circunstancias que las rodean y dejará un número de descendientes mayor que los demás individuos de la población; la selección artificial, está sometida a presiones de selección dirigidas por el hombre (Cubero, 2003).

Borém *et al.* (2008) mencionan que en la generación de nuevas variedades se debe considerar buenas fuentes de materiales de partida así

como los métodos de selección apropiados. La selección se debe iniciar cuando existe una población heterogénea, es decir, población en la cual se observa la variabilidad.

El mejoramiento de poblaciones mediante selección recurrente puede ser inter o intrapoblacional. La selección intrapoblacional involucra el mejoramiento de una población, y los métodos más comunes para hacerlo son la selección masal y la familiar en cualquiera de sus variantes: medios hermanos paternos o maternos, hermanos completos y de autohermanos (líneas S_1 ó S_2) (Márquez, 1985; Hallauer y Miranda, 1988).

La mejora de la población de maíz es aumentar la frecuencia de alelos favorables, y mantener la variación genética. Estas poblaciones pueden servir como una fuente potencial de líneas puras superiores y contribuir a la mejora genética híbrida (Duvick, 2005).

Ruíz y Álvarez (2007) estudiaron la eficacia de la selección sobre el rendimiento y acame de plantas y otros caracteres agronómicos, en dos poblaciones sintéticas de maíz, en donde encontraron ganancias genéticas en rendimiento de 0.93 t ha^{-1} por ciclo de selección, en tanto que en el acame de plantas se redujo en un promedio de 2.6 % por ciclo de selección.

Cruzas intervarietales

Los agricultores usan para su siembra diferentes tipos de semilla: variedades nativas (criollos) y variedades comerciales de polinización libre e híbridos. Por regla general, los agricultores que siembran en tierras marginales o en ambientes desfavorables usan semillas de sus propias variedades, lo cual reduce el costo de la semilla para siembra.

Ron y Hurtado (1999) señalan a las de cruzas intervarietales como un método de los más sencillos, eficientes y económicos para la obtención de semilla mejorada de maíz, donde se utilizan poblaciones criollas y poblaciones segregantes entre híbridos comerciales.

La bondad del rendimiento y adaptación de las cruzas intervarietales se ha reconocido en diversos estudios que se han realizado en diferentes regiones y con diverso germoplasma mejorado. Es por ello que el uso de semilla de cruzas intervarietales es una opción para reducir costos de cultivo, además, que se puede incrementar la producción conforme se avance los ciclos de selección de las mejores cruzas (Valdivia *et al.*, 2000).

Solano *et al.* (2006) en un estudio de variedades sintéticas y cruzas intervaritales de maíz, hallaron que el rendimiento de grano fue similar de 10.927 t ha⁻¹ y 10.520 t ha⁻¹ respectivamente, por lo que no hubo diferencia

significativa para esta variable, así como otras variables estudiadas tales como los días de floración femenina y altura de planta.

Heterosis

El fenómeno de la heterosis ha sido explotado ampliamente en el mejoramiento del maíz. La heterosis o vigor híbrido y la depresión endogámica son complementarios y los dos fenómenos son observados en los mismos estudios. Los métodos de mejoramiento en maíz durante el siglo XX han sido desarrollados para aprovechar las ventajas de la manifestación de la heterosis en cruces de líneas endogámicas (Hallauer y Miranda, 1988).

Según Jugenheimer (1988), la heterosis se manifiesta principalmente en las plantas de la generación F_1 provenientes de semillas de reproducción sexual; agrega que el vigor, el rendimiento y la mayoría de los caracteres de importancia económica del maíz son de naturaleza cuantitativa y están controlados por un gran número de genes, cuyos efectos pueden diferir ampliamente, dependiendo del tipo de acción génica manifestada.

La heterosis sirve para determinar el grado de relación genética entre los progenitores. Desde el punto de vista práctico, la heterosis útil es la más importante, porque permite desarrollar híbridos deseables superiores a los genotipos comerciales existentes en los sistemas de producción actual (Vallejo y Estrada, 2002).

Preciado *et al.* (2005) encontraron que al cruzar maíz tropical por subtropical (PABGT x Sint "B" IG y Sint PABGI ACG x Sint "A" IG), dieron buenos rendimientos de 12.5 y 12.4 t ha⁻¹, también demostraron tener una alta heterosis específica en un promedio de 1.751 t ha⁻¹, que podrían aprovecharse a través de la selección recurrente recíproca.

La heterosis ha sido aplicada ampliamente en el mejoramiento de plantas y ha contribuido de manera significativa al desarrollo de variedades de híbridos de maíz (Zhang *et al.*, 2002).

Además del comportamiento agronómico de las poblaciones, los efectos genéticos, en particular aptitud combinatoria, son importantes en el mejoramiento genético cuando se desea comparar el comportamiento de genotipos con diferentes grados de diversidad genética en combinaciones híbridas (Griffing, 1956).

Análisis dialélico

Zhang y Kang (2003) mencionan que los diseños de apareamiento dialélicos se utilizan frecuentemente en la investigación fitogenética para obtener la información genética, como la aptitud combinatoria general (ACG) y la aptitud combinatoria específica (ACE); y posiblemente, heredabilidad.

Las cruzas dialélicas han sido utilizadas en la investigación genética para determinar la herencia de los rasgos importantes entre un conjunto de genotipos y para identificar a los padres superiores para el desarrollo de híbridos o de variedades (Zhang *et al.*, 2005).

Convencionalmente los análisis dialélicos se han limitado a separar la variación de los cruzamientos en los efectos de aptitud combinatoria general y específica. Yan y Hunt (2002) proponen el empleo de una metodología que gráficamente muestra la mejor combinación dentro del dialélico y permite observar visualmente la siguiente información: (a) ACG de cada progenitor; (b) ACE de cada genotipo evaluado; (c) grupos de progenitores con similar información genética; y (d) la identificación de híbridos superiores.

Efectos recíprocos

La genética de características ha sido utilizada para el mejoramiento de numerosas especies vegetales. En la mayoría de los estudios se ha resaltado la importancia de los efectos de ACG y ACE e ignoran los factores maternos y recíprocos; es decir, se acepta que existe diferencia en el comportamiento de cruzas directas y recíprocas (Mosjidis *et al.*, 1989).

Gonzalo *et al.* (2007) mencionan que los efectos recíprocos son debido a los efectos genéticos de los padres (es decir, los efectos maternos y paternos), los efectos citoplasmáticos y los efectos de padres de origen. Sin embargo, en

el maíz, en la medida en que los efectos recíprocos existen, o se puede atribuir a determinados componentes subyacentes, sigue siendo un área de interés y estudio. Los efectos recíprocos han sido reportados por varios investigadores de diferentes caracteres agronómicos en diferentes tipos de materiales de maíz para grano y el uso de ensilaje. Los investigadores de la genética de maíz han reconocido los efectos recíprocos como una fuente de variabilidad genética, pero la falta de coherencia en la observación de estos efectos, en particular debido a condiciones de estrés, ha impedido la explotación sistemática de estos efectos en los programas de mejoramiento práctico.

En algunos casos, el efecto recíproco ha mostrado ser un factor relevante y de cierta consistencia, por lo que puede tener implicaciones en el mejoramiento genético del maíz (Hansen y Bagget, 1977). Zhang y Kang (1997) y Kang *et al.* (1999) reportaron que la división del efecto recíproco en efectos maternos y no maternos en el análisis dialélico, es útil para determinar si factores maternos o extranucleares están involucrados en la expresión de un carácter.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

El presente trabajo de investigación contempla un grupo de 10 poblaciones de maíz adaptadas a las condiciones de temporal del sureste de Coahuila (Cuadro 3.1).

Cuadro 3. 1. Genealogía del material utilizado para producir las progenies evaluadas.

Entrada	Identificación	Colecta	Origen
1	1001	C-001	Saltillo
2	1002	C-005	Saltillo
3	1003	C-007	Saltillo
4	1004	C-018	Ramos Arizpe
5	1005	C-020	Ramos Arizpe
6	1006	C-021	Ramos Arizpe
7	1007	C-026	Parras
8	1008	C-028	Parras
9	1009	C-029	General Cepeda
10	1010	C-030	Parras

En gran parte, estas poblaciones fueron seleccionadas con base en los efectos de aptitud combinatoria general a partir de cruzas con probadores (Rincón y Ruíz, 2010).

El desarrollo del material genético se llevó a cabo en el ciclo agrícola Otoño-Invierno 2007-2008, en la estación experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Tepalcingo, Mor., Se

establecieron parcelas de 10 surcos con dos fechas de siembra para realizar los cruzamientos posibles entre las 10 poblaciones.

Los cruzamientos de las poblaciones se obtuvieron mediante las cruces en dialélico, en forma directa y recíproca, usando cruces fraternales planta a planta (#PaP), obteniendo todas las cruces posibles.

Ubicación del sitio experimental

Para la evaluación del material experimental, se utilizaron dos localidades representativas y contrastantes de las condiciones ambientales del sureste de Coahuila: 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.

	Mezquite, Galeana, Nuevo León.	General Cepeda, Coahuila.	Referencia
Coordenadas geográficas			
Latitud (norte)	25° 05'	25° 26'	Georeferenciación
Longitud (oeste)	100° 42'	101° 27'	
Altitud (msnm)	1850	1350	
Descripción climática			
Estación	Agrodelta el cuije (Galeana, N.L)	Rancho la gloria (Gral. Cepeda, Coah.)	
Temperatura media anual	15.16	18.34	COFUPRO, 2008
Precipitación acumulada anual	484.4	283.6	

Diseño experimental

El establecimiento de los experimentos se realizó bajo un diseño de bloques incompletos con arreglo alfa látice (0,1) (Barreto *et al.*, 1997) con dos repeticiones por localidad. Debido a que en algunos cruzamientos se obtuvo poca semilla, la parcela experimental consistió en un surco de 5 m, donde se sembraron 30 semillas espaciadas a 20 cm, para posteriormente dejar a una planta por sitio y así asegurar 21 plantas por parcela. El espaciamiento entre surcos fue de 92 cm en el Mezquite y de 80 cm para General Cepeda.

Fechas de siembra

Las fechas de siembra en cada localidad fueron: El Mezquite, Galeana. N. L., el 21 de Mayo 2008 y General Cepeda, Coah., el 12 de Junio 2008.

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 y la aplicación de herbicidas y pesticidas para el cultivo, fueron aplicados en forma oportuna y de acuerdo a las necesidades en cada localidad de estudio, haciendo énfasis en las etapas tempranas del cultivo.

Variables a considerar

Las características agronómicas que se tomaron en cuenta, fueron las que se consideran de mayor importancia en la selección de los materiales de interés, mismas que se mencionan a continuación:

Floración masculina (FM). Se consideró el número de días desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas de la unidad experimental hubieran liberado polen.

Floración femenina (FF). Número de días desde la siembra hasta la emergencia de los estigmas en 50 % de las plantas de la unidad experimental.

Asincronía floral (ASI). Se estimó a través de la diferencia entre días de floración masculina y días de floración femenina.

Número de plantas (PTS). Se refiere al número de plantas establecidas por unidad experimental previo a la cosecha. Este dato fue utilizado en el cálculo del porcentaje de mala cobertura de mazorca, prolificidad y rendimiento de grano.

Acame de raíz (AR). Porcentaje de las plantas que tuvieron el tallo con inclinación igual o mayor a los 30 grados con respecto a la vertical.

Acame de tallo (AT). Por ciento de plantas en la parcela que presentaron el tallo quebrado debajo de la mazorca, con relación al número total de plantas por parcela.

Aspecto de la planta (ASP). Poco después de la floración se calificaron las plantas de cada parcela tomando en cuenta características, tales como uniformidad, posición de la mazorca, enfermedades, daños por insectos, calidad de tallo, etc., para ello se utilizó una escala del 1 al 5, donde el 1 es lo mejor y el 5 es lo peor.

Cobertura de mazorca. Se realizó el conteo del número de plantas con mala cobertura de mazorca previo a la cosecha. El porcentaje de mala cobertura de

mazorca (MCOB) fue calculado dividiendo el número de plantas con mala cobertura y el número de plantas por unidad experimental.

Número de mazorcas (MAZ). Se registró el número total de mazorcas cosechadas por unidad experimental.

Prolificidad (PRO). Fue determinado con la relación entre el número de mazorcas y el número de plantas por unidad experimental.

Peso de campo (PC). Es el peso de las mazorcas de cada unidad experimental en el momento de la cosecha, expresado en kilogramos.

Humedad de grano (H). Es el contenido de humedad en el grano al momento de la cosecha, expresado en porcentaje. La medida se obtuvo con el aparato Dickey John modelo 462331247, a partir de una muestra aleatoria de granos de varias mazorcas de cada unidad experimental.

Rendimiento de grano. Se obtuvo multiplicando el valor del peso seco por un factor de conversión, expresado en $t\ ha^{-1}$ al 15 % de humedad. Este valor fue multiplicado por 0.85 para obtener el rendimiento estimado de grano considerando un 85 % de desgrane.

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

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

El factor de conversión (FC) fue calculado de la siguiente forma:

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

Donde:

APU (Área de parcela útil), calculado como 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.

Análisis de la información

Los datos de los 100 genotipos evaluados (incluyendo las cruzas directas, recíprocas y de los padres) fueron analizados bajo un diseño de bloques incompletos, usando el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute, 2004) en forma combinada.

El modelo lineal general utilizado se describe a continuación:

$$Y_{ijkl} = \mu + L_i + R_{j(i)} + B_k(R_jL_i) + G_l + G_lL_i + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Variable de respuesta observable; μ = Media general; L_i = Efecto de la i -ésima localidad; $R_{j(i)}$ = Efecto de la j -ésima repetición dentro de la i -ésima localidad; $B_k(R_jL_i)$ = Efecto del k -ésimo bloque por la interacción de la j -ésima repetición y la i -ésima localidad; G_l = Efecto del l -ésimo genotipo; G_lL_i = Efecto del l -ésimo genotipo x la i -ésima localidad; ε_{ijk} = Error experimental.

Cálculo de heterosis

Se calculó la heterosis (H) para la variable de rendimiento con base al comportamiento medio de progenitores mediante la siguiente fórmula (Kennet and Saxton, 2004):

$$H = \frac{\frac{(AxB) + (BxA)}{2} - \frac{(AxA) + (BxB)}{2}}{\frac{(AxA) + (BxB)}{2}} * 100$$

Donde:

H = Heterosis estimada en porciento; AxB = Promedio de rendimiento de las cruzas directas; BxA = Promedio de rendimiento de las cruzas recíprocas; (AxA) y (BxB) = Promedio de rendimiento de los progenitores.

Análisis de Interacción de las Poblaciones y Cruzas en Ambientes.

El análisis de la interacción entre poblaciones y cruzas con los ambientes de evaluación fue realizado a través de un análisis de dispersión gráfica (Yan y Kang, 2003).

Cálculo de las medias

Se calcularon los promedios de cada genotipo y combinación híbrida para el criterio de selección, se utilizó el valor estadístico obtenido de la $\mu + 2$ veces el error estándar. En forma general se hizo un promedio de ambas localidades y luego se procedió hacerse por separado para tener las cruzas seleccionadas para cada localidad en específico.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza general

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados en este trabajo, en éste apartado se presentan los resultados del análisis de varianza (ANVA) realizados solamente para cuatro variables agronómicas consideradas como de mayor relevancia: floración masculina (FM), altura de planta (AP), prolificidad (PRO) y rendimiento de grano (REND), obtenidos de dos localidades de evaluación.

Esta información proviene del comportamiento agronómico de 45 cruzas directas, 45 recíprocas y las 10 poblaciones de maíz, utilizadas como progenitores.

Primeramente, se aborda un ANVA general que comprende todo el material genético evaluado y de esta forma dar una explicación general del comportamiento biológico del material evaluado en esta investigación.

En el (Cuadro 4.1) se presentan los cuadrados medios y la significancia de las diferencias evidentes de los componentes en cada fuente de variación, que presentaron las variables agronómicas: floración masculina (FM), altura de

planta (AP), prolificidad (PRO) y el rendimiento de grano al 15.0 % de humedad (REND).

Cuadro 4. 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de cuatro variables agronómicas de 100 genotipos de maíz evaluados en primavera verano 2008.

F.V.	gl	FM (d)	AP (cm)	PRO	REND (t ha ⁻¹)
Localidades (Loc)	1	57073.210 **	59511.602 **	0.551 *	19.329 *
Repeticiones (Rep)/Loc	2	28.340	481.263	0.025	0.764
Bloques/(Rep x Loc)	36	16.071 **	372.608 *	0.011	0.915
Genotipos (Gen)	99	25.372 **	574.164 **	0.067 **	2.073 **
Poblaciones (P)	9	34.344 **	452.959	0.034 **	2.335 **
Cruzas (C)	89	24.255 **	586.081 **	0.067 **	1.962 **
C AxB	44	21.303 **	465.708 **	0.026 **	2.163 **
C BxA	44	25.025 **	679.994 **	0.107 **	1.689 **
C AxB vs BxA	1	10.339	118.311	0.078 **	6.931 **
Pob. vs Cruzas	1	0.047	16.430	0.078 *	8.982 **
Loc x Gen	99	7.138	229.424	0.065 **	1.699 **
Pob x Loc	9	4.079	409.367 *	0.016	3.404 **
Cruzas x Loc	89	7.411	212.342	0.069 **	1.514 **
C AxB x Loc	44	4.530	256.264	0.028 **	1.725 **
C BxA x Loc	44	9.849	176.727	0.105 **	1.410 **
C AxB vs BxA x					
Loc	1	7.206	142.416	0.090 **	0.047
Pob vs Cruzas x Loc	1	5.758	0.806	0.005	0.309
Error	162	7.110	233.007	0.013	0.669
C.V %		3.003	6.902	11.698	16.019

*,** Significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente; F.V= fuente de variación; gl= grados de libertad; FM= floración masculina; AP= altura de planta; PRO= prolificidad; REND= rendimiento de grano.

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en las localidades para floración masculina y altura de planta; en cuanto a prolificidad y rendimiento, las diferencias fueron al 0.05 de probabilidad. Lo anterior puede explicarse considerando la variabilidad o diferencias de condiciones de cada localidad de evaluación.

En lo que respecta genotipos se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) para las cuatro variables; no obstante en la interacción de localidad

por genotipos se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) para PRO y REND, las variables FM y AP no se vieron afectadas, esto indica que no hay interacción con el ambiente para dichas variables.

En floración masculina como en prolificidad no se presentaron diferencias estadísticas en la interacción Poblaciones x localidad y en cruzas x localidades no hubo diferencias para floración masculina y altura de planta. Sin embargo, en los niveles de Prolificidad y Rendimiento de grano se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en la interacción de Cruzas y Poblaciones x Localidades, lo que sugiere identificar tanto poblaciones como cruzas con adaptación específica a ambas localidades incluidas en el estudio.

El análisis de la información y sus diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) de las poblaciones, las cruzas, así como el efecto tanto de las cruzas directas y recíprocas sugiere que no hay un patrón consistente de la expresión agronómica, por el contrario, existe una interacción de efectos entre las combinaciones, en las cuales son también influenciadas por los efectos de las localidades y sus interacciones (Cuadro 4.1).

Por lo que se decidió analizar el efecto promedio de heterosis, con el promedio de las cruzas directas y recíprocas (CD y CR) entre poblaciones de maíz del sureste de Coahuila (Cuadro 4.1).

Análisis de heterosis

No obstante que en el trabajo se evaluaron las cruzas tanto en su forma directa como recíproca, en la estimación de los efectos de heterosis, se uso la información promedio de las cruzas para su cálculo y así analizar la respuesta de las cruzas con respecto a los padres (Cuadro 4.2).

Cuadro 4. 2. Promedios de valores estimados de rendimiento de poblaciones y sus cruzas (arriba de la diagonal) y heterosis (debajo de la diagonal) de 10 poblaciones de maíz evaluados en primavera verano 2008.

	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010
1001	5.661	4.773	5.402	5.220	4.295	5.661	5.329	5.533	5.680	5.144
1002	-4.416	4.324	4.572	4.681	4.563	4.617	5.856	4.839	5.600	4.876
1003	12.035	10.088	3.582	5.759	5.338	5.922	5.440	4.142	5.746	5.532
1004	7.117	11.324	42.772 **	4.085	4.670	4.326	4.840	4.152	5.840	4.732
1005	-26.334 **	-11.61	6.945	-7.396	6.000	4.910	5.074	5.717	5.025	4.794
1006	13.205	7.037	42.946 **	3.142	-4.694	3.303	4.899	5.666	6.306	5.266
1007	9.595	39.601 **	35.191 **	18.767	0.823	17.094	4.065	4.833	4.857	5.446
1008	12.510	13.867	1.562	0.527	12.378	33.665 **	18.535	4.175	6.386	4.675
1009	3.447	16.125	23.531	24.166 **	11.227	31.046 **	3.51	34.501 **	5.321	5.321
1010	6.249	16.842	38.224 **	16.736	-4.343	26.505 *	34.689 **	14.062	13.893	4.022

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente; 1001-1010 número de identificación de las poblaciones; 5.162 y 4.599 t ha⁻¹, promedio de cruzas y padres, respectivamente.

Se encontraron 11 valores de heterosis positivos y significativos (24.4 %) entre las cruzas de las 10 poblaciones criollas de maíz. La diferencia entre la media de las cruzas y la media de los progenitores (poblaciones), se considera como el promedio de heterosis que fue de 0.562 t ha^{-1} (12.2 %) (Cuadro 4.2). Aun cuando éste valor promedio de heterosis es relativamente bajo, se encontraron valores de heterosis hasta en un 42.9 % en la cruce 1003x1006, lo que indica la oportunidad de realizar selección en cruzas intervarietales como alternativa para incrementar las poblaciones de maíz. Resultados similares han sido encontrados por Valdivia *et al.* (2000) con un valor de heterosis de 42.1 % en la selección de las mejores cruzas para obtención de semilla híbrida.

La heterosis estimada, fue estadísticamente significativa ($P \leq 0.01$) en las siguientes cruzas: 1002x1007, 1003x1004, 1003x1006, 1003x1007, 1003x1010, 1004x1009, 1006x1008, 1006x1009, 1007x1010 y 1008x1009, para la cruce 1006x1010 presentó diferencia significativa al ($P \leq 0.05$), lo que indica que las poblaciones que intervinieron en las cruzas dan buenos rendimientos. En estas cruzas por la frecuencia en ellas, destacan las poblaciones 1003, 1006, 1009 y 1010, lo cual sugiere la importancia en la combinación genética en el rendimiento de grano.

Se mencionó que en general, el promedio de heterosis fue de 12.2 % en las cruzas entre poblaciones evaluadas. A este respecto, diversos estudios realizados entre poblaciones de amplia base genética han indicado una

expresión baja de heterosis, las cuales varían 6.05 a 8.8 % para el rendimiento de grano en maíz (Beck *et al.*, 1990; Crossa *et al.*, 1990; Vasal *et al.*, 1992; Rezende y Zousa, 2000).

La respuesta heterótica de las cruzas fue baja, lo cual no es del todo sorprendente si se consideran las poblaciones de amplia base genética de los materiales utilizados. Niveles mayores de heterosis han sido señalados por otros investigadores, tales como Hallauer y Miranda (1988), quienes resumieron 47 estudios independientes con germoplasma mayormente templado, y encontraron que para rendimiento la heterosis promedio fue de 8.2 %.

Es importante señalar que la mayoría de las cruzas presentaron un rendimiento mayor al promedio de los padres, y solo seis cruzas (13.0 %) fue inferior su rendimiento al promedio de los padres (Cuadro 4.2) lo cual demuestra que las poblaciones son diferentes genéticamente y por lo tanto se puede explotar su combinación en cruzas intervarietales.

Interacción de las Poblaciones y Cruzas en Ambientes de Evaluación

En la Figura 4.1 se representa la dispersión de las poblaciones (C1-C10) y se indica las cruzas sobresalientes en efectos heteróticos con respecto a las localidades de evaluación (MEZ1, MEZ2, GC1 y GC2, respectivamente), con una explicación del 81.7 % de la variación total en el rendimiento de grano.

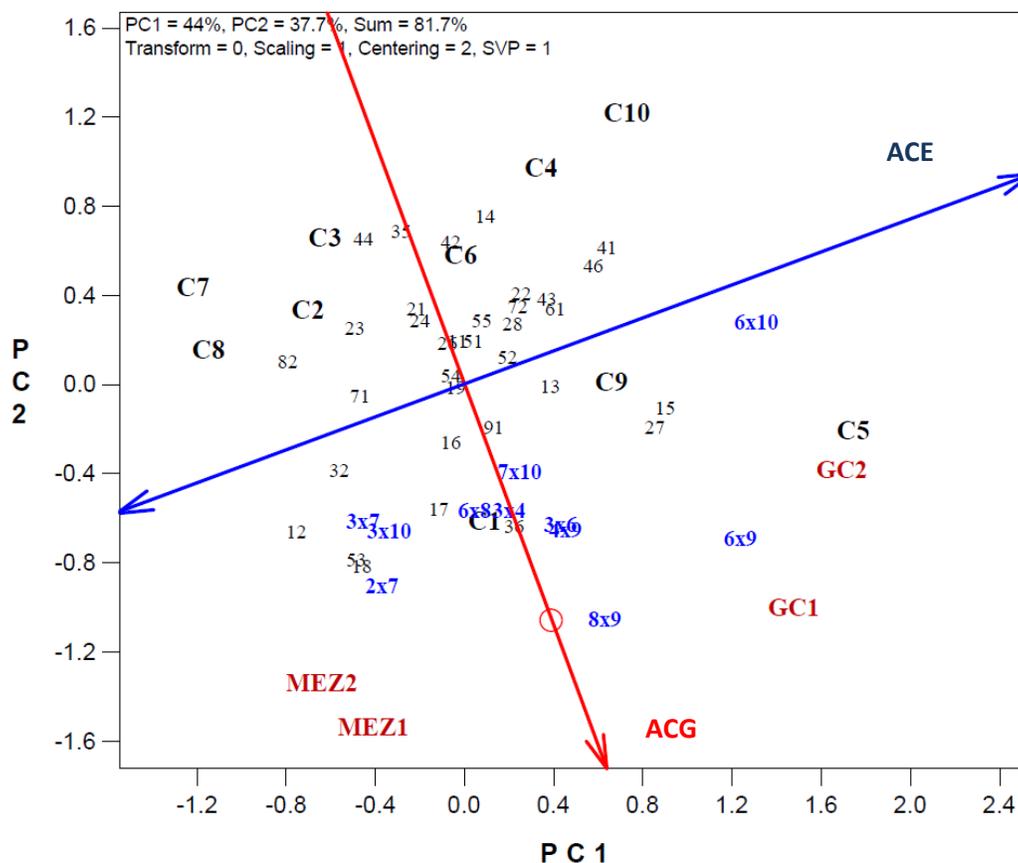


Figura 4.1. Interacción de las poblaciones y cruza x el ambiente de evaluación con base a su rendimiento de grano de 10 poblaciones y sus cruza. MEZ1 y MEZ2= Mezquite; GC1 y GC2 = General, Cepeda; C1-C10= Poblaciones; 1x2-9x10= Cruza sobresalientes.

En el eje inclinado asociado al eje de las abscisas se indica el rendimiento promedio de las poblaciones equivalente a los efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG), en tanto que el eje inclinado asociado al eje de la ordenada indica la respuesta específica de las poblaciones en los ambientes de evaluación equivalente a la Aptitud Combinatoria Especifica (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) 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 y cruzas en la ordenada con dirección alejada del origen, indican la respuesta positiva al ambiente específico; por tanto, las poblaciones y cruzas ubicadas cerca de la línea paralela a las abscisas, son consideradas como estables en rendimiento de grano a través de ambientes (localidades) (Yan y Tinker, 2006).

De esta manera se identificaron tres grupos de poblaciones de acuerdo con su adaptación: el primero, con adaptación a la localidad de General Cepeda, conformado por las siguientes poblaciones C4, C5, C9 y C10 (valor positivo en la ordenada) representan el (40 %) del total; el segundo grupo con adaptación a la localidad El Mezquite, formadas por las poblaciones C2, C7 y C8 (valores negativos con respecto a la ordenada) representan el (30 %); y el tercer grupo corresponde a las estables a través de ambientes: C1, C3 y C6 representan el (30 %) (Figura 4.1). De la evaluación de poblaciones *per se*, destacan las poblaciones C1 y C5 con buen potencial de rendimiento. La población C5 mostró adaptación a General Cepeda, Coah., en tanto que la población C1, con un comportamiento estable entre las dos localidades. Por lo tanto, estas poblaciones pueden ser mejoradas de manera *per se* utilizando selección recurrente.

De igual manera se identificaron tres grupos de cruzas que presentaron mayor rendimiento y una buena heterosis (Cuadro 4.2); el primero, con adaptabilidad para General Cepeda: 6x9 y 6x10 (valor positivo con respecto al eje inclinado asociado a la ordenada) representan el (18.2 %) de las mejores cruzas, el segundo adaptado para la localidad El Mezquite 2x7, 3x7 y 3x10 (valor negativo con respecto al eje inclinado asociado con la ordenada) representan el (27.3 %) de las mejores cruzas y las cruzas que se presentaron estables a través de ambientes 3x4, 3x6, 4x9, 6x8, 7x10 y 8x9 representan el (54.5 %) (Figura 4.1).

Potencial de rendimiento de las mejores cruzas

Con base en el rendimiento promedio a través de ambientes, se identificó a las mejores 25 cruzas (Cuadro 4.3). Estas cruzas son las que se encuentran con valores positivos con respecto al eje inclinado de las abscisas identificadas como ACG (Figura 4.1). También, en el Cuadro 4.3 se incluyó las medias de todos los padres (poblaciones).

Con respecto al comportamiento promedio del rendimiento de grano, las poblaciones 1005 y 1001 fueron los que obtuvieron los mas altos valores con 6.047 y 5.687 t ha⁻¹ respectivamente, tal y como se señala en la Figura 4.1.

Cuadro 4.3. Medias de rendimiento de grano y floración masculina de las 25 mejores cruzas y los padres de maíz a través de ambientes de evaluación.

Entrada	Cruzas	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)			Floración masculina (d)	
		Promedio	General Cepeda, Coah.	Mezquite, Galeana, N. L.	General Cepeda, Coah.	Mezquite, Galeana, N. L.
81	1008x1009	6.367 * †	6.862 *	5.926 *	78.0	98.5
63	1006x1009	6.334 * †	7.536 *	5.142	77.1	102.3
45	1004x1009	5.883 * †	6.309	5.444	73.5	98.4
33	1003x1006	5.875 * †	6.281	5.516	78.6	102.1
25	1002x1007	5.819 †	5.247	6.376 *	75.1	96.4
31	1003x1004	5.797 †	5.955	5.630	75.8	102.1
36	1003x1009	5.724	5.984	5.434	78.0	102.3
18	1001x1009	5.673	5.021	6.263 *	76.8	98.2
53	1005x1008	5.669	5.130	6.127 *	75.8	98.3
15	1001x1006	5.655	6.681 *	4.679	76.3	101.7
62	1006x1008	5.635 †	5.643	5.609	76.3	101.2
27	1002x1009	5.602	6.679 *	4.545	76.8	100.8
37	1003x1010	5.556 †	5.067	5.948	82.2 *	102.8
17	1001x1008	5.500	5.448	5.478	79.2	102.1
34	1003x1007	5.453 †	4.872	6.026 *	79.3	100.6
73	1007x1010	5.428 †	5.735	5.171	78.9	103.6
12	1001x1003	5.421	4.539	6.307 *	75.2	99.8
32	1003x1005	5.371	4.720	5.993 *	78.5	101.0
91	1009x1010	5.353	5.593	5.120	78.6	103.8
16	1001x1007	5.343	5.336	5.316	78.8	105.2
64	1006x1010	5.245 †	6.924 *	3.543	79.0	104.8 *
13	1001x1004	5.235	5.852	4.673	76.6	100.8
19	1001x1010	5.166	5.279	5.067	77.6	100.0
52	1005x1007	5.070	5.462	4.785	78.1	100.5
54	1005x1009	5.039	5.114	4.890	76.0	99.8
Media de cruzas		5.161	5.378	4.945	76.900	100.700
EE. de Cruzas		0.348	0.522	0.459	1.548	1.795
	Padres					
5	1005	6.047 *	8.054 *	4.059	78.7	101.9
1	1001	5.687 *	5.773	5.605	74.0	98.9
9	1009	5.337	6.179	4.508	74.9	97.3
6	1006	4.346	4.637	4.041	80.7	105.0
2	1002	4.270	3.760	4.822	76.8	99.6
7	1007	4.158	3.064	5.203	80.2	108.5 *
8	1008	4.102	3.088	5.098	74.6	96.0
4	1004	4.100	4.987	3.163	73.3	97.3
10	1010	4.020	5.400	2.560	76.3	103.2
3	1003	4.003	3.596	4.497	78.9	102.3
Media de padres		4.607	4.854	4.356	76.800	101.000
EE. de padres		0.491	0.738	0.646	2.176	2.504

EE.= error estándar; * = valores superiores a la $\mu + 2$ el error estándar; † = cruzas con valores de heterosis significativos.

De igual manera, con base en el rendimiento promedio, se identificaron cuatro cruzas (*) 1008x1009, 1006x1009, 1004x1009 y 1003x1006. Son también las que fueron significativamente importantes en efecto de heterosis (†) (Cuadro 4.3; Figura 4.1).

De las 25 cruzas mejores, destacan las poblaciones 1001, 1003 y 1009 con las mayores participaciones en las cruzas. Es decir, estas tres poblaciones muestran comportamiento similar a la ACG, pero también en combinaciones específicas (Cuadro 4.3).

Con respecto a la floración masculina, en lo general, la madurez fisiológica se muestra alrededor de la media en las 25 cruzas (Cuadro 4.3), solo se presentan dos cruzas con valores superiores en madurez 1003x1010 en la localidad de General Cepeda y 1006x1010 en El Mezquite.

En cuanto a la población que presentó mayor rendimiento promedio fue la 1005, pero también de mejor comportamiento en la localidad de General Cepeda, lo cual indica que esta población por si sola tiene buenos rendimientos, y se le puede aplicar esquemas de selección recurrente (Cuadro 4.3; Figura 4.1).

En forma general la mayor precocidad (floración masculina) se presentó en la localidad de General Cepeda, debido a que tiene temperaturas más elevadas y eso acelera la madurez fisiológica de la planta. Cuando las

poblaciones fueron evaluadas en altitudes más altas (El Mezquite) las poblaciones y cruza se volvieron más tardías, además, que las poblaciones son adaptadas al sureste de Coahuila.

V. CONCLUSIONES

Las poblaciones de maíz C4, C5, C9 y C10 mostraron adaptabilidad a la localidad de General Cepeda; las poblaciones C2, C7 y C8 a la localidad El Mezquite; y las poblaciones C1, C3 y C6 mostraron adaptabilidad a través de localidades. Las poblaciones con mayor potencial de rendimiento fueron 1001 y 1005.

Las cuatro mejores cruzas 1008 x 1009, 1006 x 1009, 1004 x 1009 y 1003 x 1006, con rendimiento promedio a través de ambientes. De esta manera se identificaron las mejores poblaciones que destacaron en las cruzas que fueron la 1001, 1003 y 1009.

Se encontró un promedio de heterosis entre poblaciones nativas de 12.2 % (0.562 t ha^{-1}) pero con valores máximos de 42.8 % en la crusa 1004x1003, lo que sugiere la posibilidad de usar cruzas intervarietales como alternativa para incrementar la productividad en áreas de temporal.

LITERATURA CITADA

- 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.*
- Beck, D. L., S. K. Vasal., J Crossa. 1990. Heterosis and combining ability of CIMMYT's tropical early and intermediate maturity maize germoplasm. *Maydica*. 35: 279-285.
- Borém A., M. Condori y G. Miranda. 2008. *Mejoramiento de plantas. Vicosa, Brasil. UFV. 438 p.*
- Crossa, J., S. K. Vasal., D. L. Becker. 1990. Combining ability estimates of CIMMYT's tropical late yellow maize germplasm. *Maydica*, 35: 273-278.
- COFUPRO (Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce A. C.). 2008. *Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas. Disponible en línea <http://clima.inifap.gob.mx/redclima/> (Verificado el 30 de Diciembre de 2010).*
- Cubero, J. I. 2003. *Introducción a la mejora genética vegetal. Segunda Edición. Editorial Mundi-Prensa. S. A de C. V. México. 561 p.*
- Duvick, D. N. 2005. Genetic progress in yield of united states maize. *Maydica*. 50: 193-202.

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2008. Bases de Datos Sustantivos. Disponible en línea <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> (Verificado el 8 de Marzo de 2011).
- Gonzalo, M., T. J. Vyn., J. B. Holland and L. M. McIntyre. 2007. Mapping reciprocal effects and interactions with plant density stress in *Zea mays* L. *Heredity*. 99: 14-30.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- Hallauer, A. R., and J. B. Miranda. 1988. Quantitative genetics in maize breeding. 2nd ed. Iowa State Univ. Press. Ames. 468 p.
- Hansen, L. A. and J. R. Baggett. 1977. Reciprocal differences for plant and ear characteristics in sweet corn. *Hort Science*. 12:60-62.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) 2009. Cuaderno Estadístico Municipal de Saltillo, Coahuila de Zaragoza. Aspectos Geográficos. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/> (Consultado el 23 de Diciembre del 2010).
- Jugenheimer, R. W. 1988. Maíz, variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semilla. Trad. R. Piña G. Ed. Limusa, Mexico. 841 p.
- Kang, M. S., D.A. Kushairi., Y. Zhang, and R. Magari. 1999. Combining ability for rind puncture resistance in maize. *Crop Sci.* 39:368-371.
- Kennet, J. and A. M. Saxton. 2004. More estimation of genetic parameters. *In*: Saxton A. M. (ed.). Genetic analysis of complex traits using SAS. Cary, NC: SAS Institute Inc. pp. 35-54.
- Márquez, S. F. 1985. Genotecnía Vegetal. Tomo I. Métodos, teoría y resultados. AGT Ed. México, D. F. 356 p.

- Mosjidis, J. A., J. G. Waines., D. M, Yermanos and A. A. Rosielle. 1989. Methods for the study of cytoplasmic effects on quantitative traits. *Theor. Appl. Genet.* 77:195-199.
- Preciado O., R. E., A. D. Terrón., N. O. Gómez., E. I. Robledo. 2005. Componentes genéticos en poblaciones heteróticamente contrastantes de maíz de origen tropical y subtropical. *Agron. Mesoamericana.* 16:145-151.
- Rezende, G., S. P and C. L. A. Souza. 2000. Reciprocal recurrent selection procedure outlined to integrate hybrid breeding programs in maize. *Journal of Genetics & Breeding.* 54: 57-66.
- Rincón S., F. y N. A. Ruiz, T. 2010. Aptitud combinatoria y potencial de rendimiento de poblaciones criollas de maíz del sureste de Coahuila. *In: Nájera M. B. y C. A. Ramírez M. (ed.). Mejoramiento, conservación y uso de los maíces criollos. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A. C. Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Michoacán y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. México. pp. 12-22.*
- Ron P. J. y P. S. Hurtado. 1999. Manual para la producción de semilla híbrida de maíz. Universidad de Guadalajara, Jalisco, México. Fundación Produce Jalisco. 81 p.
- Ruiz, J. I. G. and A. Álvarez. 2007. Six cycles of S_1 recurrent selection in two Span. *J. Agric. Res.* 5(2), 193-198.
- 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. 2008. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Disponible en línea. <http://www.siap.gop.mx/> Consulta realizada en Diciembre 2010.

- SAGARPA-SIAP. 2009. Cierre de la producción agrícola por estado. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Disponible en línea <http://www.siap.gop.mx/>. Consulta realizada en Enero 2011.
- SAS Institute. 2004. SAS/STAT[®] 9.1 User 'S Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 5121 p.
- Solano V., N., E. Rodríguez G., J. Ron P., J. J. Sánchez G., R. Lépiz Ll., S. A. Hurtado P. 2006. Evaluación de variedades sintéticas y cruza intervarietales de maíz para Poncitlán, Jalisco. *Scientia-CUCBA* 8(2):207-216.
- Valdivia R., V. A. Vidal y M. Sierra. 2000. Selección de progenitores de maíz para la obtención de semilla híbrida por pequeños agricultores. *Agron. Mesoamericana*. 11 (2): 85-89.
- Vallejo, C. F. y S. E Estrada. 2002. Mejoramiento genético de plantas. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 402 p.
- VasaL, S. K., G. Srinivasan., D. L. Beck., J. Crossa., S. Pandey., S. De León. 1992. Heterosis and combining ability of CIMMYT's tropical late white maize germplasm. *Maydica*. 37: 217-223.
- Yan, W., and L. A. Hunt. 2002. Biplot analysis of diallel data. *Crop Sci*. 42: 21-30.
- Yan, W., and M. S. Kang. 2003. GGE Biplot analysis. A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press LLC, New York. 271 p.
- 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.
- Zhang, Y. and Kang, M. S. 1997. DIALLEL-SAS: A SAS program for Griffing's diallel analyses. *Agron. J*. 89:176-182.

- Zhang, S., X. Li., L. Yuan., M. Li., Z. Peng. 2002. Heterotic groups and exploitation of heterosis methodology, strategy, and use in hybrid maize breeding in china. *In*: Srinivasan G., P. H. Zaidi., B. M. Prasanna., F. Gonzalez and K. Lesnick. (ed.) Proceeding of the Eighth Asian Regional Maize Workshop. Bangkok, Thailand, 5-8 Agust. Mexico, D. F. CIMMYT. pp. 474-481.
- Zhang, Y. and M. S. Kang. 2003. Diallel-SAS: A program for Griffing's diallel methods. *In*: Kang M. S. Handbook of Formulas and Software for Plant Geneticists and Breeders. Food products press. New York. pp.193-203.
- Zhang, Y., M. S. Kang, and K. R. Lamkey. 2005. DIALLEL-SAS05: A comprehensive program for Griffing's and Gardner–Eberhart. *Agron. J.* 97:1097–1106.