

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Estimación de Efectos Genéticos de Nueve Poblaciones Nativas de Maíz
Adaptadas al Sureste de Coahuila

MIGUEL ÁNGEL TAFOLLA RODRÍGUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.

Marzo del 2018.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Estimación de Efectos Genéticos de Nueve Poblaciones Nativas de Maíz
Adaptadas al Sureste de Coahuila

Por:

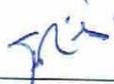
MIGUEL ÁNGEL TAFOLLA RODRÍGUEZ

TESIS

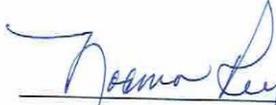
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría



Dr. Froylán Rincón Sánchez
Asesor Principal



Dra. Norma Angélica Ruiz Torres
Coasesor



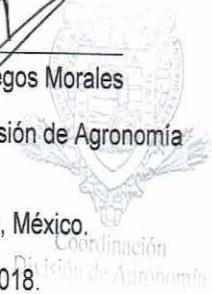
Dr. Juan Manuel Martínez Reyna
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Marzo del 2018.



AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por haberme llevado por el camino del bien, por darme fortaleza en los momentos difíciles de la vida.

A **mi familia** por nunca dejarme solo, por el apoyo incondicional que me brindaron siempre y por los buenos consejos que me llevaron a ser un hombre de bien.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por mi formación como profesionista y llenarme de grandes conocimientos y experiencias que serán para mi provechosas. “Alma Terra Mater”

Al **Dr. Froylán Rincón Sánchez** por darme la oportunidad de incorporarme a su trabajo de investigación, por el tiempo que me brindó, por las enseñanzas adquiridas en el mismo, así como en clase y en campo que contribuyeron a una mejor preparación como profesionista. Gracias.

A la **Dra. Norma Angélica Ruiz Torres** por su enseñanza durante mi formación profesional y por la revisión de la presente investigación.

Al **Dr. Juan Manuel Martínez Reyna** por la revisión del presente trabajo de investigación y por los conocimientos impartidos en clase.

A mis compañeros y amigos que se tomaron el tiempo para apoyarnos en algunas de las actividades de la investigación: **Robe, Porras, Sergio, Valente, Grimas, Luis, Durango, Cocón, Palomo, Roque, Goyo, Oswaldo.**

DEDICATORIA

A mis padres **Juana Rodríguez Hernández** y **Miguel Tafolla Flores**

Madre. Por la dedicación a tu familia por ser una gran madre que siempre tuvo un buen consejo para nosotros por tus noches de desvelo por tus preocupaciones por todo lo que has hecho por tu familia madre mía gracias.

Padre. Eres un ejemplo a seguir, un hombre de trabajo, una persona de respeto, gracias por llevarme por el mejor camino de la vida y siempre dar lo mejor de ti para tu familia

Gracias a los dos por el gran esfuerzo que han hecho por sacarnos adelante a mí y a todos mis hermanos adelante. Toda la vida se los agradeceré, en verdad que los admiro.

A mis hermanos: **Luis, Omar, Héctor, Nayeli, Adrián** e **Isamar**, por su ánimo e inspiración para salir a delante y saber que si se puede

A mi abuelo **José Tafoya Duran I** porque gracias a usted desde niño me inculcó el amor al campo, el amor al trabajo trayéndome con él por donde él andaba ahí siempre estaba tito a su lado lo echo de menos abuelo. Gracias por sus grandes enseñanzas.

A mi abuela paterna **María Trinidad I** y abuelos maternos **María Juana** y **Pascual** y tíos que siempre confiaron en mí, gracias por alentar mis deseos de convertirme en un profesionista.

A mi novia **María Guadalupe Felipez Díaz** por el apoyo que incondicionalmente me has brindado en los buenos y malos ratos. Gracias por tus alientos de ánimo en cada momento. Gracias por compartir tu vida a mi lado, y convertirte en mi todo, al ser la mujer que le faltaba a mi vida una mujer maravillosa. 11:11. Te amo.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	II
DEDICATORIA	III
ÍNDICE GENERAL	IV
LISTA DE CUADROS.....	V
RESUMEN.....	VI
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	2
Hipótesis	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Diversidad del maíz.....	3
Efectos genéticos.....	5
Cruzas intervarietales.....	5
Heterosis.....	6
Aptitud combinatoria general y específica	8
Cruzas dialélicas	9
Análisis de cruzamientos dialélicos	10
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
Material genético.....	12
Ubicación del sitio experimental	12
Diseño experimental	14
Labores culturales.....	14
Siembra.....	14
Fertilización.....	14
Riegos.....	14
Variables evaluadas	15
Análisis de la información.....	17
Estimación de heterosis	18
Efectos de aptitud combinatoria	18
Cálculo de las medias	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
V. CONCLUSIONES.....	33
VI. LITERATURA CITADA	34

LISTA DE CUADROS

Cuadro 3.1. Poblaciones nativas de maíz del sureste de Coahuila utilizadas en el estudio como progenitores	13
Cuadro 4.1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables agronómicas de 81 genotipos de maíz evaluados en el ciclo primavera-verano 2016	22
Cuadro 4.2. Medias de rendimiento de padres y cruzas directas (arriba de la diagonal) y cruzas recíprocas (debajo de la diagonal)	25
Cuadro 4.3. Valores estimados de heterosis en cruzas directas (arriba de la diagonal) y cruzas recíprocas (debajo de la diagonal)	29
Cuadro 4.4. Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) de las poblaciones en estudio cruzas directas (arriba de la diagonal) y recíprocas (debajo de la diagonal)	32

RESUMEN

La producción del maíz está siendo afectada de manera compleja por factores asociados a las modificaciones del ambiente como el incremento de la temperatura, escasa precipitación, heladas, entre otros, que requieren atención para definir estrategias de selección para obtener variedades mejoradas que respondan a las limitantes climáticas y a las necesidades del productor. Los objetivos del presente trabajo de investigación fueron: Identificar combinaciones genéticas de maíz sobresalientes por su potencial de rendimiento y estimar efectos genéticos de nueve poblaciones de maíz adaptadas a las condiciones del sureste de Coahuila. Las nueve poblaciones de maíz provienen de diferente origen geográfico y de diferente clasificación racial. Las poblaciones y sus cruzas fueron evaluadas en la localidad El Mezquite, Galeana, N.L. en 2016. Se obtuvo información de días a floración, altura de planta (cm), plantas con mala cobertura (%), pudrición de mazorca (%) número de mazorcas por planta y rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$). Se estimaron los efectos de aptitud combinatoria y heterosis en el rendimiento de grano. Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre poblaciones y sus cruzas en todas las variables evaluadas, debido a la divergencia genética entre poblaciones, de diferentes grupos raciales y adaptación geográfica, así como a las combinaciones genéticas. En el análisis de los cruzamientos entre poblaciones adaptadas a valles altos con poblaciones de áreas intermedias del sureste de Coahuila, se encontraron efectos recíprocos en el rendimiento de grano, las estimaciones de heterosis y los efectos de aptitud combinatoria. Las poblaciones intermedias 7_R (raza Ratón) y 8_T y 9_T (raza Tuxpeño) tuvieron efectos significativos de aptitud combinatoria general, lo que sugiere que pueden ser usadas en recombinaciones genéticas para identificar genes que ayuden a contrarrestar los estreses bióticos y abióticos. También se identificaron combinaciones específicas, las cuales pueden proponerse para explorar cruzas intervartetales o iniciar un proceso de selección y adaptación a áreas específicas del sureste de Coahuila.

Palabras Clave: *Zea mays* L., heterosis, aptitud combinatoria, análisis dialélico.

I.INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el tercer cereal más importante del mundo después del trigo y el arroz. En México, es el principal grano que se utiliza en la alimentación teniendo una superficie sembrada de 7,761,216 ha con una producción de 28,250,783 toneladas, con un rendimiento promedio nacional de 3.72 t ha⁻¹ (SAGARPA-SIAP, 2016).

La producción del maíz está siendo afectada de manera compleja por muchos factores del ambiente como heladas tempranas, precipitación pluvial escasa, entre otros. Por lo cual es necesario emplear una estrategia con base en el mejoramiento genético para obtener variedades mejoradas que respondan a las limitantes climáticas y a las necesidades del productor (Arellano, 1984). Algunas de estas estrategias, según Poehlman y Allen (2005) son las siguientes: I). Identificar caracteres morfológicos, fisiológicos y patológicos que contribuyan a su adaptación, salud, y productividad; II). Buscar nuevos genes que codifiquen caracteres deseados en la especie cultivada y especie afines; III). Combinar genes que codifiquen los caracteres deseados en un cultivar mejorado aplicado a los métodos tradicionales de mejoramiento genético.

En México la variación genética que existe en las poblaciones de maíz con diferentes áreas de adaptación altitud (msnm), tipo de producción (temporal o seco), factores climáticos, etc., posee atributos que pueden ser útiles para el mejoramiento de las mismas poblaciones (Nájera *et al.*, 2010). Asimismo, se han realizado investigaciones en variedades criollas de maíz, donde se han demostrado que tienen una amplia variación con potencial para el mejoramiento, por lo tanto, son de utilidad en el aprovechamiento de los genes que poseen (Rincón y Ruiz, 2010).

Mediante la recombinación de poblaciones con diferencias en la divergencia genética asociadas al origen geográfico, se pueden detectar combinaciones sobresalientes, como la heterosis, y efectos de aptitud combinatoria que pueden enriquecer la diversidad del maíz (Castillo *et al.*, 2000).

En el presente trabajo se analiza la combinación genética entre nueve poblaciones de maíz de diferente área de adaptación y grupos raciales adaptados al sureste de Coahuila, con los siguientes objetivos e hipótesis.

Objetivos

- Identificar combinaciones genéticas de maíz sobresalientes por su potencial de rendimiento y aptitud combinatoria entre nueve poblaciones de maíz.
- Estimar los efectos de heterosis entre nueve poblaciones de maíz adaptadas a las condiciones del sureste de Coahuila.

Hipótesis

- Los cruzamientos entre poblaciones de diferente área de adaptación y divergencia genética exhiben atributos con potencial para el mejoramiento y desarrollo de nuevo germoplasma para mitigar los efectos del cambio en el ambiente.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Diversidad del maíz

La diversidad de germoplasma en todos los programas de mejoramiento genético es útil para enfrentar los cambios climáticos que hoy en día se presentan. Según Wellhausen *et al.* (1951) en México se encuentra la mayor diversidad genética en maíz, la cual se atribuye al hombre, con el mejoramiento que ha ido aplicando a lo largo del tiempo, así como de los lugares de domesticación, además de los diferentes ambientes donde los materiales están adaptados (Caraballosa *et al.*, 2000).

Wellhausen *et al.* (1951) caracterizaron las razas de maíz en México considerando cuatro grupos los cuales son: Razas indígenas antiguas, Exóticas precolombinas, Mestizas prehistóricas y Modernas incipientes. En el estado de Coahuila se ha reportado la presencia de poblaciones representativas de la raza Tuxpeño (Wellhausen *et al.*, 1951), Ratón y Tuxpeño Norteño (Ortega, 1985) y las razas Celaya, Cónico Norteño, Elotes Cónicos, y Olotillo (Rincón *et al.*, 2010).

En el sureste de Coahuila se han recolectado poblaciones de maíz de siete grupos raciales en una amplitud de altitudes de 887 a 2557 msnm (Rincón *et al.*, 2010). Estas poblaciones representan una divergencia genética expresada por el tipo de raza, el origen de procedencia, y las diferencias ambientales.

Las razas Cónico Norteño y Elotes Cónicos se encuentran adaptadas a las áreas de transición a altitudes superiores a los 1700 m; en tanto que las razas Ratón, Tuxpeño y Tuxpeño Norteño su área de adaptación es muy amplia: Ratón (84 – 1300 m), Tuxpeño (0- 1950 m) y Tuxpeño Norteño (1400 – 1701 m) (Ruiz *et al.*, 2008). En el presente estudio se incluyeron las siguientes razas de maíz:

Cónico Norteño

Se originó de la raza Cónico, son plantas cortas, son de ciclo precoz, con pocas hojas, pubescencia ligera o intermedia, mazorcas cortas, adaptado a elevaciones medianamente altas entre 1600 a 2100 msnm (Wellhausen *et al.*, 1951).

Celaya

Proveniente de la cruce de la raza Tuxpeño y Tabloncillo. Las principales características son: plantas altas, de dos a tres metros de altura, ciclo poco tardío, con muchas hojas, poca pubescencia, espigas largas, mazorca mediana cilíndrica, adaptado a altitudes medianas, 1200 a 1800 msnm (Wellhausen *et al.*, 1951).

Ratón

Es proveniente de la raza Nal-Tel y Tuxpeño Norteño, las principales características son: Ciclo corto entre 54 y 60 días, tiene mazorcas semicilíndricas de grano dentado, con adaptación a climas subtropicales y en zonas semidesérticas a altitudes de 1100 a 1800 msnm (Ortega, 1985).

Tuxpeño

Es proveniente del cruzamiento de las razas Olotillo y Tepecintle, dando a esta raza las siguientes características: Plantas de tres a cuatro metros de altura, ciclo muy tardío, presenta muchas hojas anchas, pubescencia muy ligera, espigas largas con numerosas ramificaciones, mazorca mediana y larga cilíndrica, se cultiva desde el nivel del mar hasta los 500 msnm (Wellhausen *et al.*, 1951).

Tuxpeño Norteño

Su adaptación es en el norte de México a elevaciones menores de 1400 msnm las principales características son: ciclo intermedio entre 63 a 73 días, una altura de 2.5 a 3.5 metros, bastante ramificación en la espiga, mazorca de forma cilíndrica de 10 a 16 hileras de grano dentado (Ortega, 1985).

Efectos genéticos

Los efectos genéticos son variables aleatorias no observables que son obtenidas a partir de los valores fenotípicos, que son la característica de interés (Mora *et al.*, 2007).

Los efectos genéticos son importantes para la evaluación del potencial genético de ciertos progenitores que se tienen dentro de un programa de mejoramiento genético (Martínez *et al.*, 2005).

Martínez (1983) menciona que uno de los procedimientos más usados para el estudio de los efectos genéticos es el análisis de cruzas dialélicas.

Cruzas intervarietales

Molina (1964) propuso las cruzas intervarietales como un método de mejoramiento, después que obtuvo cruzas con mayor rendimiento que el promedio de los progenitores

Las cruzas intervarietales son un método de mejoramiento sencillo y además eficiente para la obtención de semilla mejorada de maíz ahorrando a los agricultores el costo de la misma; en este método se utilizan poblaciones criollas o también poblaciones segregantes de maíz (Ron y Hurtado, 1999).

Las cruzas intervarietales se pueden producir por los mismos agricultores para la obtención de semilla para su siembra. Estas variedades provienen de germoplasma de variedades nativas con caracteres de preferencia por el agricultor, el rendimiento y la adaptación. El potencial de las cruzas intervarietales ha sido reconocido en diversos estudios realizados y por el mismo campesino (Valdivia *et al.*, 1999).

Heterosis

La heterosis o vigor híbrido es el resultado de la expresión fenotípica (tamaño, vigor o productividad) de la combinación híbrida con relación al promedio de sus progenitores. Este fenómeno se ha investigado a lo largo del tiempo, pero no se ha llegado a una conclusión que lo explique. Se han considerado dos hipótesis para explicar la heterosis: la primera está asociada a la dominancia y a la sobredominancia. En el caso de la dominancia, ésta fue propuesta por Bruce (1910), la presencia de alelos dominantes en los loci de un genotipo determina su mejor desarrollo y expresión, y donde además los genes recesivos deletéreos se encuentran encubiertos al encontrarse en condición heterocigota, y la segunda, propuesta por East (1908), se basa en la sobredominancia y establece que el vigor híbrido se debe a la superioridad de los genotipos heterocigóticos con respecto a los homocigóticos

Gardner (1967) seccionó los efectos de heterosis en tres maneras: 1. heterosis promedio, donde se obtiene por diferencia de la media de la

descendencia y la media de los padres, 2. heterosis varietal, es la heterosis con la que contribuye un progenitor en las cruzas en las que está participando, 3. heterosis específica, donde se contribuye con heterosis a una craza en específico.

Entre más divergentes sean los progenitores, se espera mayor expresión en el carácter de interés en el híbrido. Por lo tanto, deben usarse progenitores con caracteres contrastantes, debido a que la diversidad genética es mayor entre grupos o poblaciones que dentro de las mismas (Robles, 1986).

En cruzamientos entre genotipos divergentes, el vigor híbrido o heterosis ocurre en la generación F_1 . Las plantas F_1 son más vigorosas y de mayor rendimiento que sus padres, se obtienen mayores rendimientos, especialmente con plantas de polinización libre en las que es difícil mantener cultivares homogéneos y estables, debido a su apareamiento aleatorio, por lo que cada generación difiere a la anterior (Borojević, 1990).

Al evaluar cruzas entre padres genéticamente contrastantes se pueden identificar cruzas con un porcentaje mayor de heterosis, que al cruzar padres que presentan un grado de consanguinidad (Hallauer *et al.*, 2010).

Hallauer y Miranda (1981) mencionaron que para obtener mejor respuesta heterótica, se debe combinar germoplasma que provenga de diferente área de adaptación, suponiendo que, a mayor divergencia genética, habrá mayor heterosis, pero la divergencia debe ser selectiva para no tener heterosis negativa.

La heterosis expresada en cruzas intervarietales es variada y guarda relación con la divergencia genética de los progenitores, generalmente la

heterosis es mayor entre progenitores de diferente región que dentro de la misma (Romero *et al.*, 2002).

Esquivel *et al.* (2011) evaluaron 15 poblaciones progenitoras de valles altos y sus 105 cruzamientos y encontraron que la heterosis promedio global de las cruzas entre las 15 poblaciones fue superior al encontrado en otros trabajos similares previos, pudiendo identificar poblaciones como Méx-633, Col-03-64, Col- 6784 y FHCH-129Fn como las más aptas para generar combinaciones con potencial para rendimiento de grano.

Bautista (2011) realizó un cruzamiento dialélico entre 10 poblaciones de maíz del sureste de Coahuila encontrando un valor promedio de heterosis entre las poblaciones de 12.2 % (0.562 t ha⁻¹) con valores máximos de 42.8 % en la cruza 1004 x 1003 sugiriendo las cruzas intervarietales para una mejora en la productividad de la región.

Aptitud combinatoria general y específica

Sprague y Tatum (1942) propusieron los términos aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) con relación al comportamiento de los genotipos al ser cruzadas, donde la ACG refiere al comportamiento promedio de una línea en combinaciones híbridas, y la ACE a los casos en que ciertas combinaciones hacen relativamente mejor o peor de lo que se esperaría con base en el comportamiento promedio de las líneas involucradas.

Un programa de mejoramiento depende en gran parte del potencial de los progenitores y para esto se considera que la aptitud combinatoria (ACG, ACE) es

una alternativa rápida para determinar los mejores progenitores para definir los esquemas de selección (Ramírez *et al.*, 2007).

La ACG proporciona información sobre que material puede combinar con varios genotipos cuando se cruzan entre ellos obteniendo buenas características en la progenie (Robles, 1987). Por lo tanto, la ACE se mide por el rendimiento de una craza específica y se debe exclusivamente a sus progenitores (Brauer, 1987).

Los efectos de aptitud combinatoria han sido utilizados para determinar los tipos de acción génica que controlan a los diferentes caracteres, y lograr mayor eficiencia en los programas de mejoramiento (Gutiérrez *et al.*, 2004).

Uno de los métodos para obtener las estimaciones de ACG y ACE simultáneamente son los cruzamientos dialélicos, donde se cruzan p progenitores entre sí para obtener todas las cruzas posibles, con base en la siguiente fórmula $n \times n-1$ (Cubero, 2003).

Para determinar los efectos de ACG y ACE, Esquivel *et al.* (2013) evaluaron 15 poblaciones de maíz de diferente origen geográfico y sus 105 cruzamientos dialélicos y detectaron combinaciones con buena ACG con otras de origen geográfico divergente como Oax-814, Dgo-189 y Jal-335 con alta ACE, lo que implica interacciones positivas que en perspectiva pueden generar híbridos intervarietales superiores.

Cruzas dialélicas

Según Griffing (1956) los cruzamientos dialélicos son el conjunto de p genotipos elegidos y cruzados entre ellos, dando como resultado un conjunto de p^2 combinaciones. Los diseños dialélicos son usados frecuentemente por los genetistas para obtener información de efectos genéticos cuando los padres no son elegidos al azar y determinar la aptitud combinatoria general y específica, heterosis y parámetros genéticos (Burow y Coors, 1994).

Uno de los objetivos fundamentales de los cruzamientos dialélicos es estimar los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) (Vallejo y Estrada, 2002). Además, estos autores mencionan que las cruzas dialélicas es un sistema de apareamiento en donde p progenitores se cruzan entre sí para producir un número determinado de progenies $p(p-1)$ si se incluyen los cruzamientos recíprocos y $p(p-1)/2$ si no se incluyen.

Los cruzamientos dialélicos intervarietales dentro de un programa de mejoramiento genético su propósito es explorar las combinaciones posibles para la explotación del potencial híbrido y la heterosis que se expresa en los cruzamientos (Pérez *et al.*, 1995).

Análisis de cruzamientos dialélicos

Existen varias metodologías para el análisis dialélico en las cuales destaca la metodología propuesta por Griffing (1956) tiene varios métodos que difieren en la incorporación o no de las cruzas recíprocas y de los padres, por lo cual estableció cuatro métodos para el análisis de las cruzas dialélicas.

Método 1. Incluye a los progenitores, grupo de cruzas directas y grupo de cruzas recíprocas, las cuales son todas las combinaciones (P^2).

Método 2. Incluye los progenitores y el grupo de cruzas directas ($P(P+1)/2$.)

Método 3. Comprende el grupo de cruzas directas y el grupo de cruzas recíprocas (P(P-1)).

Método 4. Se incluye solamente el grupo de cruzas directas (P(P-1) /2).

Además, la metodología de Griffing (1956) comprende dos modelos para la elección de los progenitores.

Modelo 1. (Efectos fijos) los padres son seleccionados por el fitomejorador por caracteres de interés agronómico considerando todos los individuos de su población.

Modelo 2. (Efectos aleatorios) los padres son tomados de manera aleatoria en la población para obtener estimaciones con base en toda su población.

Según Estrada (1984) el análisis dialélico ayuda al fitomejorador a identificar progenitores sobresalientes para con ellos explotar el fenómeno de la heterosis, o para aislar genes deseables a partir de las poblaciones segregantes.

Allard (1975), afirma que el análisis dialélico permite investigar bastantes progenitores y de estos seleccionar sólo una pequeña parte para programas de mejoramiento, además se puede determinar la aptitud combinatoria general y específica para saber de que manera se están comportando los genes.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

En el trabajo de investigación se incluyó un grupo de nueve poblaciones de maíz de diferente origen geográfico, y de diferente clasificación racial, adaptadas a las condiciones de temporal del sureste de Coahuila (Cuadro 3.1).

Las nueve poblaciones que se usaron como progenitores se incrementaron en el 2015 además de realizarse las cruzas intervarietales posibles entre estas poblaciones de maíz representativas de cinco grupos raciales, adaptados al sureste de Coahuila.

Ubicación del sitio experimental

Para la evaluación del material experimental, se utilizó la localidad El Mezquite, Galeana, N.L, representativa de las condiciones ambientales de valles altos del sureste de Coahuila. La ubicación geográfica de esta localidad es 25° 05' 20.13'' latitud Norte y a los 100° 42' 17.64'' longitud Oeste, presenta una altitud de 1909 m, con una temperatura anual media de 15 a 16 °C, y una precipitación anual promedio de 484.4 mm. El lugar de establecimiento se cuenta con sistemas de riego para las necesidades de agua del cultivo.

Cuadro 3.1. Poblaciones nativas de maíz del sureste de Coahuila utilizadas en el estudio como progenitores.

Ent	ID	Descripción	Raza	Municipio	Localidad	Alt	Adaptación
1	1_CN	UAAAN2003COAH043	Cónico Norteño	Saltillo	El Jagüey de Ferniza	2089	Valles altos
2	2_CN	UAAAN2010COAH024	Cónico Norteño	Arteaga	Chapultepec	2053	Valles altos
3	3_C	PT14C	Celaya	General Cepeda	Porvenir de Tacubaya	1556	Intermedio
4	4_R	PT14R	Ratón	General Cepeda	Porvenir de Tacubaya	1556	Intermedio
5	5_TN	UAAAN2008COAH061	Tuxpeño norteño	General Cepeda	El Gavillero	1398	Intermedio
6	6_R	VCMAN302-G1P	Ratón	Parras	Siete de Enero	1506	Intermedio
7	7_R	VCMAN303-G1P	Ratón	Arteaga	Nuncio	1705	Intermedio
8	8_T	UAAAN2012I219	Tuxpeño x Celaya	Ramos Arizpe	San Martín de Las Vacas	1702	Intermedio
9	9_T	CONANP2009-159	Tuxpeño	Arteaga	El Arbolito	1468	Intermedio

ID = Identificación; Ent = Entrada; Alt = Altitud

Diseño experimental

El establecimiento del experimento se realizó bajo un diseño de bloques incompletos con arreglo alfa látice (0,1) con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió en un surco de 4 m de largo, con un espaciado entre surcos de 0.85 m, con un área de parcela útil de 3.6 m². Se sembraron 30 semillas, para posteriormente aclarar y dejar 21 plantas por parcela.

Labores culturales

Las labores culturales y la aplicación de herbicidas e insecticidas para el cultivo, fueron realizadas en forma oportuna y de acuerdo con las necesidades del cultivo y teniendo en cuenta las etapas fenológicas de las plantas.

Siembra

El establecimiento del cultivo se realizó en húmedo el 2 de mayo 2016.

Fertilización

Se usó una dosis de fertilización de 120-60-60. La fertilización nitrogenada se dividió en dos partes, la primera parte al momento de la siembra junto con todo el fósforo y el potasio suministrados con fertilizante fórmula 17-17-17; la otra mitad del nitrógeno se complementó con Urea 46-00-00.

Riegos

El número de riegos estuvo en función de las condiciones meteorológicas del lugar y de los requerimientos hídricos del cultivo.

Variables evaluadas

Las características analizadas en los genotipos son las de mayor importancia agronómica las cuales se describen a continuación.

Floración femenina (FF). Se consideró el número de días transcurridos desde la siembra hasta la emergencia de los estigmas en un 50 % de las plantas de la unidad experimental.

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

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

Altura de la planta (APTA). Se tomó la medida de la planta en cm desde la base del tallo hasta el punto de inserción de la primera ramificación espigada de la panoja.

Altura de la mazorca (AMAZ). Se midió la altura de la mazorca en cm tomando desde la base del tallo hasta el inicio del raquis de la mazorca principal.

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

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 cosechadas y el número de plantas por unidad experimental.

Mala cobertura de mazorca (MCOB). Se contaron el número de plantas con mala cobertura de mazorca previo a la cosecha. Fue calculado dividiendo el número de plantas con mala cobertura y el número de plantas por unidad experimental expresado en porcentaje.

Mazorcas podridas (MP). En la unidad experimental se estimó el número de mazorcas podridas, expresado en porcentaje con relación al total de mazorcas.

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.

Porcentaje de desgrane (PD). Es la relación que existe entre el peso del grano y el peso total de la mazorca; este criterio se tomó en cuenta para la estimación del rendimiento en grano.

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 el porcentaje de desgrane de cada material para obtener el rendimiento estimado de grano.

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

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

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 multiplicando el largo del surco por lo ancho de este mismo; 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 90 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:

$$y_{ijk} = \mu + r_i + b_{j(i)} + g_k + e_{ijk}$$

Donde:

y_{ijk} = Variable de respuesta observable; μ = Media general; r_i = Efecto de la i -ésima repetición; $b_{j(i)}$ = Efecto del j -ésimo bloque dentro de la i -ésima repetición; g_k = Efecto del k -ésimo genotipo; e_{ijk} = Error experimental.

Estimación de heterosis

Para la estimación de heterosis (\hat{h}) para la variable de rendimiento se hizo con base al comportamiento medio de los progenitores mediante la siguiente fórmula (Gardner, 1967):

$$\hat{h}_{ij} = Y_{ij} - \frac{1}{2} (Y_{ii} + Y_{jj})$$

Dónde:

\hat{h}_{ij} = Efecto de heterosis; Y_{ij} = Media de la progenie de la cruce de los dos padres;
 Y_{ii} = Media del primer progenitor; Y_{jj} = Media del segundo progenitor

Efectos de aptitud combinatoria

Para estimar los cálculos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) se realizó de acuerdo al modelo propuesto por Griffing (1956), con el método IV de efectos fijos.

Fórmula para estimar la ACG

$$\hat{g}_i = \hat{Y}_{i.} - \hat{y}_{..}$$

Dónde:

\hat{g}_i = Aptitud combinatoria general; $\hat{Y}_{i.}$ = Media de las cruces en las que participa el progenitor; $\hat{y}_{..}$ = Media de las sumatoria de los promedios de las cruces.

Fórmula para estimar la ACE

$$\hat{s}_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_{i.} - \hat{y}_{.j} + \hat{y}_{..}$$

Dónde:

\hat{S}_{ij} = Efectos de aptitud combinatoria específica; y_{ij} = Resultado de la cruce entre los progenitores i y j ; $\hat{y}_{i.}$ = Media de los cruzamientos en los que participa el progenitor i ; $\hat{y}_{.j}$ = Media de los cruzamientos en los que participa el progenitor j ; $\hat{y}_{..}$ = Media del promedio de los cruzamientos de cada uno de los progenitores.

Cálculo de las medias

Se calculó el promedio de cada genotipo y la combinación híbrida para el criterio de importancia por el cual se está seleccionado, se utilizó el valor estadístico obtenido de la $\mu + 2$ veces el error estándar. En general se hizo un promedio de la localidad de estudio para tener las cruzas sobresalientes y poder seleccionarlas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

A continuación, se presentan los resultados del análisis de varianza (ANVA) para las siete variables agronómicas de importancia (Cuadro 4.1.): floración masculina (FM), asincronía (ASI), altura de planta (APTA), mala cobertura (MCOB), mazorcas podridas (MP), prolificidad (PRO), rendimiento (REND), evaluadas en El Mezquite, Galeana, N.L. en 2016.

La información que conforma el análisis proviene de las variables agronómicas de 72 cruzas (36 directas y 36 recíprocas), así como de las nueve poblaciones progenitoras.

El análisis muestra en el caso de los genotipos, diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en cada una de las variables agronómicas evaluadas, esto es debido a que tanto las poblaciones como las cruzas son diferentes en raza, origen, y área de adaptación, en donde en este último parámetro, las razas de valles altos e intermedios, hacen que los genes se expresen al no encontrar similitudes genéticas.

En lo que corresponde a las poblaciones, con excepción de la asincronía de floración y prolificidad, las cruzas fueron estadísticamente diferentes ($P \leq 0.01$) en todas las variables evaluadas, esto se debe a la divergencia genética entre los diferentes grupos raciales.

En las cruzas se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en todas las variables evaluadas debido a las diferencias en las combinaciones genéticas

expresadas en la progenie. La descomposición de los efectos en cruzas directas y recíprocas muestran diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) dentro de las cruzas. Sin embargo, al comparar las cruzas directas con las recíprocas, se encontró diferencia estadística ($P \leq 0.01$) en el número de mazorcas por planta y rendimiento de grano. Lo anterior indica la contribución de los efectos recíprocos en la expresión fenotípica de la craza.

En la comparación de poblaciones vs cruzas, se encontraron diferencias ($P \leq 0.01$) en floración masculina y rendimiento de grano, y en altura de planta ($P \leq 0.05$), lo que sugiere un estudio más profundo de estas tres variables de importancia.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables agronómicas de 81 genotipos de maíz evaluados en el ciclo primavera-verano 2016.

FV	GL	FM	ASI	APTA	MCOB	MP	PRO	REND
Repeticiones (Rep)	3	62.190 **	4.834 *	1271.472	380.862 *	48.927	0.062	1.413
Bloques / Rep	32	8.288 *	1.335	404.107	93.390	58.299 *	0.021	2.701 **
Genotipos (Gen)	80	63.719 **	2.542 **	844.406 **	134.376 **	96.939 **	0.045 **	5.102 **
Poblaciones (Pob)	8	123.388 **	1.633	752.975 **	169.961 *	187.795 **	0.033	5.338 **
Cruzas (C)	71	57.281 **	2.628 **	844.216 **	130.279 **	86.420 **	0.047 **	4.853 **
C AxB (CD)	35	60.945 **	2.606 *	742.104 **	120.918 **	97.735 **	0.034 **	4.384 **
ACG	8							8.51 **
ACE	27							2.92 **
C BxA (CR)	35	53.086 **	2.791 **	918.372 **	141.826 **	68.563 **	0.056 **	4.720 **
ACG	8							9.24 **
ACE	27							4.51 **
C AxB vs BxA	1	17.473	3.122	485.782	0.592	198.475 *	0.156 **	13.050 **
Pob vs Cruzas	1	57.090 **	0.072	1698.759 *	23.697	130.173	0.007	22.825 **
Error	208	4.804	1.514	281.757	65.457	34.716	0.017	1.350
CV (%)		2.115	66.44	6.757	64.449	65.0749	11.619	13.874

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad; FV= Fuentes de variación; GL= Grados de libertad; FM= Floración masculina; ASI= Asincronía de floración; APTA= Altura de planta; MCOB= Mala cobertura; MP= Mazorcas podridas; PRO= Prolificidad; REND= Rendimiento; CV (%)= Coeficiente de variación; ACG= Aptitud combinatoria general; ACE= Aptitud combinatoria específica.

Análisis de rendimiento

En esta sección se analiza el rendimiento de grano de las poblaciones y las cruzas posibles para estimar y analizar los efectos genéticos y heterosis. Las medias de rendimiento y las cruzas posibles se presentan en el Cuadro 4.2.

En el Cuadro 4.2., se identifican las cruzas con valores promedio superiores, usando como criterio el valor obtenido en sólo aquellas que estuvieran por encima de la media más dos errores estándar ($\mu + 2 \epsilon$).

Lo que corresponde a las cruzas directas ocho cruzas tuvieron rendimiento superior a nueve toneladas, siendo el máximo rendimiento de 9.795 t ha^{-1} , donde participan las poblaciones 7_R X 2_CN, una craza entre material de valles altos por un intermedio., Dentro de este grupo, la de menor rendimiento, la craza 9_T x 6_R, obtenida al cruzar dos poblaciones provenientes de áreas intermedias, pero de diferente grupo racial, dando un rendimiento de 9.372 t ha^{-1} , aun así es un material sobresaliente.

Por su parte, en las cruzas recíprocas, la selección fue diferente ya que la media de rendimiento fue superior a la de las cruzas directas, aun así, se pudieron identificar cinco materiales con potencial de rendimiento hasta de 10.671 t ha^{-1} con la craza 2_CN X 9_T, dos poblaciones, una de valles altos y una intermedia.

Las cruzas 7_R X 3_C y 8_T X 3_C con sus respectivas cruzas recíprocas, muestran un comportamiento consistente en los dos cruzamientos superiores en ambos casos, es decir, en estas cruzas, no importa cuál será usado como macho

o como hembra al realizar un cruzamiento, puesto que el rendimiento será elevado, en las cuales sobresale la población tres, correspondiente a la población Celaya. De las 13 cruzas identificadas (Cuadro 4.2.), solo cuatro están asociadas a las combinaciones genéticas entre los materiales de valles altos de la raza Cónico Norteño con poblaciones de áreas intermedias, donde intervienen las razas Celaya, Ratón, y Tuxpeño.

Cuadro 4.2. Medias de rendimiento de padres y cruzas directas (arriba de la diagonal) y cruzas recíprocas (debajo de la diagonal).

	1_CN	2_CN	3_C	4_R	5_TN	6_R	7_R	8_T	9_T	Padres
1_CN		5.979	6.315	7.478	7.604	7.449	7.052	7.676	8.750	4.934
2_CN	5.346		6.833	6.581	8.460	7.923	9.795 *	8.891	8.997	7.485
3_C	10.660 *	8.023		8.329	8.227	8.205	9.785 *	9.722 *	8.092	8.151
4_R	6.881	8.263	7.856		7.007	8.167	9.507 *	9.471 *	8.191	7.052
5_TN	7.179	6.696	8.545	7.307		8.884	8.275	7.786	9.664 *	8.895
6_R	7.867	9.075	7.725	8.961	7.493		8.377	7.160	9.372 *	7.966
7_R	8.703	9.534	9.931 *	9.349	9.713	9.120		9.356 *	9.080	8.671
8_T	9.514	10.250 *	10.131 *	9.674	8.738	8.736	9.017		8.684	8.364
9_T	9.607	10.671 *	8.759	7.727	8.718	9.110	9.639	8.729		7.301
Padres	4.821	7.286	8.156	7.215	8.870	7.986	8.851	8.376	7.316	

* = Cruzas identificadas usando como criterio ($\mu + 2 \epsilon$); 8.132, 0.585= Media de rendimiento y error estándar (ϵ) de cruzas directas; 8.491, 0.651= Media de rendimiento y error estándar (ϵ) de cruzas recíprocas; C = Celaya; CN = Cónico Norteño; R = Ratón; T = Tuxpeño; TN = Tuxpeño Norteño.

Análisis de la heterosis

En la estimación de heterosis se usó el valor promedio de las cruzas, esta información se analizó tanto en las cruzas directas como en las cruzas recíprocas, los resultados se presentan en el Cuadro 4.3.

Al estimar el valor de la heterosis de forma directa se encontraron nueve valores positivos y significativos, de los cuales el valor más elevado fue de 2.6321 con una diferencia significativa ($P \leq 0.01$) correspondiente a la cruce de la población 1_CN X 9_T, y entre este grupo el menor valor de heterosis significativo se obtuvo entre la población 3_C X 8_T con valor de 1.4646 con una significancia estadística al 0.05 de probabilidad. En el caso de los cruzamientos en forma recíproca, ocho cruzamientos fueron estadísticamente distintos, cinco al 0.01 y tres al 0.05 de probabilidad.

El análisis de heterosis muestra que las combinaciones de las poblaciones 1_CN X 9_T y las poblaciones 2_CN X 9_T y 4_R X 8_T al cruzarse de forma directa como recíproca, muestran consistencia en la heterosis. De estas cruzas sobresalen las cruzas 1_CN X 9_T y 2_CN X 9_T siendo éstas el material Cónico Norteño que corresponde a la población uno y a su área de adaptación en valles altos, con la población 9_T, su adaptabilidad se encuentra en zona intermedia que es el material Tuxpeño. Lo anterior indica que, al cruzar germoplasma con divergencia genética muy contrastante, se presenta con expresión heterosis positiva. Estas combinaciones tienen la posibilidad de ser seleccionadas, y dado el caso, iniciar un esquema de selección para transmitir alelos a las poblaciones con adaptación a valles altos que ayuden a mitigar los efectos del cambio climático. También pueden ser usadas para explotar cruzas intervarietales. Bautista (2011) propuso las cruzas intervarietales para la mejora

de la productividad en el sureste de Coahuila, al encontrar valores hasta del 42.8 % de heterosis en cruzamientos entre 10 poblaciones de maíz. En este grupo de cruzamientos, también se identificó la cruza 3_C X 1_CN con una significancia ($P \leq 0.01$) entre materiales de valles altos con la raza Celaya de áreas intermedias. Crossa *et al.* (1990) reportaron valores de heterosis positiva y significativa entre estas dos razas, lo cual puede ser una fuente de transferencia alélica para mejorar los materiales de valles altos.

La heterosis se presenta con un mayor grado en las cruzas donde los materiales son más contrastantes tanto en su genética como en su área de adaptación por lo cual coincide con Romero *et al.* (2002), quienes mencionan que la heterosis tiene relación con la divergencia genética de los progenitores y que ésta se presenta con mayor grado cuando los progenitores son de diferente región.

De la información del Cuadro 4.3, se observa que no hay efectos positivos de heterosis entre las dos poblaciones de valles altos por ser del mismo grupo racial. En tanto que entre las poblaciones de áreas intermedias se presentaron siete combinaciones con valores significativos de heterosis ($P \leq 0.05$), determinados por la presencia de las combinaciones de las razas Celaya, Ratón y Tuxpeño.

Como se puede observar en el Cuadro 4.2. las cruzas 2_CN x 7_R, 4_R x 7_R, 3_C x 8_T, 4_R x 8_T, 5_TN x 9_T, 6_R x 9_T, en forma directa y 1_CN x 3_C, 2_CN x 8_T, 3_C x 8_T, 2_CN x 9_T en forma recíproca corresponden con las seleccionadas con mayor grado de heterosis (Cuadro 4.3). Por lo tanto, en mayor grado la heterosis puede estar relacionada con el rendimiento si el objetivo es la expresión del rendimiento en estos materiales.

En relación con los mejores progenitores, se puede observar que en las cruzas donde son incluidos, el rendimiento es superior que al de cualquiera de los dos padres; esto indica que la heterosis se vio expresada también en rendimiento. Según Borojević (1990), las plantas F₁ son más vigorosas y de mayor rendimiento que sus padres.

Cuadro 4.3. Valores estimados de heterosis en cruzas directas (arriba de la diagonal) y cruzas recíprocas (debajo de la diagonal).

	1_CN	2_CN	3_C	4_R	5_TN	6_R	7_R	8_T	9_T
1_CN		-0.2303	-0.2270	1.4851 *	0.6891	0.9996	0.2492	1.0265	2.6321 **
2_CN	-0.7079		-0.9851	-0.6877	0.2695	0.1978	1.7166 *	0.9661	1.6036 *
3_C	4.1716 **	0.3015		0.7272	-0.2957	0.1470	1.3737	1.4646 *	0.3657
4_R	0.8635	1.0126	0.1705		-0.9664	0.6588	1.6457 *	1.7623 *	1.0141
5_TN	0.3340	-1.3818	0.0321	-0.7357		0.4538	-0.5083	-0.8439	1.5663 *
6_R	1.4634	1.4390	-0.3465	1.3606	-0.9343		0.0588	-1.0048	1.7388 *
7_R	1.8670 *	1.4653	1.4276	1.3161	0.8529	0.7018		0.8381	1.0944
8_T	2.9150 **	2.4192 **	1.8646 *	1.8788 *	0.1154	0.5550	0.4040		0.8513
9_T	3.5388 **	3.3695 **	1.0222	0.4612	0.6249	1.4592	1.5559	0.8829	

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad; C = Celaya; CN = Cónico Norteño; R = Ratón; T = Tuxpeño; TN = Tuxpeño Norteño.

Análisis de aptitud combinatoria

El Cuadro 4.4 muestra los valores estimados de los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de las poblaciones en estudio, así como los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de las combinaciones directas y recíprocas resultantes de los nueve progenitores evaluados.

Respecto a los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) se encontró significancia positiva en los padres 7_R, 8_T y 9_T (razas Ratón y Tuxpeño) en las combinaciones directas y recíprocas. Lo anterior indica el potencial de estas poblaciones para ser utilizadas en combinaciones genéticas para la transferencia alélica y la formación de variedades con potencial para amortiguar los estreses bióticos y abióticos que se presenten en el sureste de Coahuila. Además, se pueden mejorar algunos caracteres propios de estas razas. La significancia estadística entre cruza directas vs cruza recíprocas (Cuadro 4.1) se manifiestan en las medias de rendimiento (Cuadro 4.2), los efectos de heterosis (Cuadro 4.3) y los efectos de ACG y ACE (Cuadro 4.4).

En cuanto a la aptitud combinatoria específica (ACE) se detectó significancia positiva en las cruza directas 2_CN x 7_R, 3_C x 8_T, y 4_R x 8_T. En el caso de las cruza recíprocas, las combinaciones 3_C x 1_CN y 9_T x 2_CN, coinciden con las cruza identificadas como una de las de más rendimiento (Cuadro 4.2), así como los valores positivos de heterosis (Cuadro 4.3), lo que indica que las poblaciones Celaya (3_C), Tuxpeño (9_T) así como la población 7_R en la combinación 2_CN x 7_R pueden ser un punto de partida para iniciar hibridaciones intervarietales para incrementar los rendimientos. Asimismo, debido a que las poblaciones 1_CN y 2_CN adaptadas a valles altos pueden utilizarse para transferir alelos procedentes de material genético intermedio a materiales de valles altos para mitigar los efectos del cambio climático. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Esquivel *et al.*

(2013), que al cruzar materiales de diferente origen geográfico se detectaron buenas combinaciones, lo que implica interacciones positivas que en perspectiva pueden generar híbridos superiores.

Cuadro 4.4. Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) de las poblaciones en estudio cruzas directas (arriba de la diagonal) y recíprocas (debajo de la diagonal).

	1_CN	2_CN	3_C	4_R	5_TN	6_R	7_R	8_T	9_T	ACG
1_CN		-0.8273	-0.6921	0.5773	0.7161	0.3436	-1.0287 *	0.0927	0.8183	-1.0357 **
2_CN	-2.5419 **		-1.0028 *	-1.1357 *	0.5697	0.1397	1.1640 *	0.7695	0.3229	-0.3780
3_C	2.2342 **	-0.8156		0.1822	0.0912	0.0339	0.8423	1.1857 *	-0.6405	-0.1055
4_R	-0.7660	0.4029	-0.6220		-0.9745 *	0.1185	0.6756	0.9703 *	-0.4137	-0.2018
5_TN	-0.2455	-0.0639	0.4960	0.0404		0.6747	-0.7043	-0.0691 *	0.6962	0.0201
6_R	0.0505	0.7133	-1.1256 *	0.9684	-0.3529		-0.3966	-1.4546 **	0.5407	-0.1143
7_R	-0.2823	0.3887	0.2599	0.2723	0.8644	-0.0252		0.1386	-0.6908	0.7182 **
8_T	0.6333	0.9301	0.4679	0.7170	0.0788	-0.4600	-1.2176 *		-0.6331	0.4213 *
9_T	0.9177	1.9863 **	-0.8949	-1.0132	0.1825	0.2315	-0.2602	-1.1496 *		0.6758 **
ACG	-0.5303 *	-0.3036	0.2691	-0.5057 *	-0.7011 **	-0.2491	0.7377 **	0.7375 **	0.5456 *	

*, ** = Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; C = Celaya; CN = Cónico Norteño; R = Ratón; T = Tuxpeño; TN = Tuxpeño Norteño.

V. CONCLUSIONES

En los cruzamientos entre poblaciones adaptadas a valles altos con poblaciones de áreas intermedias del sureste de Coahuila, se encontraron efectos recíprocos en el rendimiento de grano, en las estimaciones de heterosis y en los efectos de aptitud combinatoria.

Las poblaciones intermedias 7_R (raza Ratón) y 8_T y 9_T (raza Tuxpeño) tuvieron efectos significativos de aptitud combinatoria general, lo que sugiere que pueden ser usadas en recombinaciones para identificar genes que ayuden a contrarrestar los estreses bióticos y abióticos, así como también contribuir a el rendimiento de los materiales del sureste de Coahuila.

Se identificaron combinaciones específicas las cuales pueden ser propuestas para explorar cruzas intervarietales o iniciar un proceso de hibridación para la selección y adaptación a áreas específicas del sureste de Coahuila.

VI. LITERATURA CITADA

- Arellano V., J. L. 1984. Problemática de la producción de maíz y logros en su mejoramiento genético en la mesa central de México. Revista Chapingo. Vol. IX. Núm. 43.44: 19-30.
- Allard R., W. 1975. Principios de Mejora Genética de las Pantas. Editorial Omega 2ed. Barcelona España. 498p.
- Bautista P., C. E. 2011. Comportamiento agronómico y efectos de heterosis entre poblaciones de maíz del sureste de Coahuila, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.
- Borojević, S. 1990. Principles and Methods of Plant Breeding. Vol.17. Ed. Elsevier. New York, USA. 368 p.
- Bruce A., B. 1910. The mendelian theory of heredity on the augmentation of vigor. Crop Science. 32: 677- 682.
- Brauer, O. 1987. Fitogenética Aplicada Ed. Limusa. México. 518p.
- Burow, M. D, and J. G. Coors. 1994. DIALLEL: A Microcomputer program for the simulation and analysis of diallel crosses. Agronomy Journal. 86:154-158.
- Caraballosa 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. Agrocienca. 34: 167-174.
- 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. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.
- Crossa J., S. Taba, and E. J. Wellhausen. 1990. Heterotic patterns among mexican races of maize. Crop Science. 30:1182-1190.

- Cubero, J. I. 2003. Introducción a la Mejora Genética Vegetal. 2ª Edición. Ed. Mundi-prensa. Madrid, España. 567p.
- East E., M. 1908. A Study of the Factors Influencing the Improvement of the Potato. University of Illinois. Agricultural Experiment Station. 92p.
- Esquivel E., G., F. Castillo G., J. M. Hernández C., A. Santacruz V., G. García de los Santos y J. A. Acosta G. 2013. Aptitud combinatoria en maíz con divergencia genética en el Altiplano mexicano. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol.4. Num.1: 5-18.
- Esquivel E., G., F. Castillo G., J. M. Hernández C., A. Santacruz V., G. García de los Santos, J. A. Acosta G. y A. Ramírez H. 2011. Heterosis en maíz del Altiplano de México con diferente grado de divergencia genética. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol. 2. Num.3: 331-344.
- Estrada S., E. L. 1984. Evaluación de cruzamientos dialélicos en tomate, (*Lycopersicon esculentum Mill*) Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 99p.
- Gardner, C. O. 1967. Simplified methods for estimating constants and computing sums of squares for a diallel cross analysis. Fitotecnia Latinoamericana. Vol.4. Núm 2:1-12.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Australian Journal of Biological Sciences. Vol 9. Núm.4: 463-493.
- Gutiérrez E., A. Espinoza, A. P. Gil., J. J. Lozano, y O. Antuna. 2004. Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la comarca lagunera. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 27 (Núm. Especial 1): 7-11.
- Hallauer A., R., J. Carena M., and, J. D. Miranda F. 2010. Quantitative genetics in maize breeding. Vol. 6. Ed. Springer Science and Business Media. N.Y. USA. 665 p.

- Hallauer A., R. y J. B. Miranda F. 1981. Quantitative Genetics in Maize Breeding. 2nd ed. Iowa State Univ. Press. Ames. 468p.
- Martínez Z., G., J. R. A. Dorantes G., M. Ramírez M., A. Rosa L. y O. Pozo C. 2005. Efectos genéticos y heterosis en la vida de anaquel del chile serrano. Revista Fitotecnia Mexicana. 28 (4): 327-332.
- Martínez G., A. 1983. Diseño y análisis de experimentos de cruzas dialélicas. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 13.p.
- Molina G., J. (1964). Comportamiento de las razas de maíz y sus cruzas con Tuxpeño, Vandeño y Stiff Stalk Synthetic en Cotaxtla, Ver. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Méx. 61p
- Mora, F., J. Osmério, P., y A. Scapim C. 2007. Predicción del efecto de cultivares de algodón en la presencia de interacción genotipo-ambiente. Ciencia e Investigación Agraria. Vol. 34. Núm. 1: 13-21.
- Nájera C., L. A., F. Rincón S., N. A. Ruíz T., F. Castillo G. 2010. Potencial de rendimiento de poblaciones criollas de maíz en Coahuila, México. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 33. (Núm. Especial 4): 31-36.
- Ortega P., R. A. 1985. Descripción de algunas razas mexicanas de maíz poco estudiadas: Variedades y razas mexicanas de maíz y su evaluación en cruzamientos con líneas de clima templado como material de partida para fitomejoramiento. Tesis de Ph. D. Instituto Nacional de Plantas N.I. Vavilov. Leningrado, U.R.S.S.
- Pérez, J. C., Ceballos, H.; Pandey, S. and Díaz, C. 1995. Análisis of diallel crosses among colombian landraces and improved populations of maize. Crop Science. Vol.35. Núm.2: 572-578.
- Poehlman J. M. y D. Allen. 2005. Mejoramiento Genético de las Cosechas. 2ª Edición. Ed. Limusa. México. 511 p.

- Ramírez D., J. L., M. Chuela B., V. A. Vidal M., J. Ron P., F Caballero H. 2007. Propuesta para formar híbridos de maíz combinando patrones heteróticos. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30:453-461.
- 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.
- Rincón S., F., F. Castillo G., N. A. Ruiz T. 2010. Diversidad y distribución de los maíces nativos en Coahuila, México. SOMEFI, Chapingo, Mex. 116 p.
- Robles S., R. 1986. *Genética Elemental y Fitomejoramiento Práctico*. Editorial Limusa. México. 339 p.
- Robles S., R. 1987. *Terminología Genética y Fitogenética*. Ed. Trillas. México. 163 p.
- Romero P., J., F. Castillo G., R. Ortega P. 2002. Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza Chalqueño: II. Grupos genéticos, divergencia genética y heterosis. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 25. Núm. 1: 107-115.
- 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 C., J. A., N. Durán P., J. J. Sánchez G., J. Ron P., D. R. González E., J. B. Holland and G. Medina G. 2008. Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 mexican maize races. *Crop Science* 48:1502 – 1512.
- SAGARPA-SIAP. 2016. *Producción agrícola anual por cultivo*. 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 febrero 2018).

SAS Institute. 2004. SAS/STAT 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA.

Sprague, G. F., and A. Tatum L. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *Agronomy Journal*. Vol. 34. Núm10: 923-932.

Vallejo C., E. A. y E. I. Estrada S. 2002. *Mejoramiento Genético de Plantas*. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. 402 p.

Valdivia B., R., V. A. Vidal M., M. Sierra M.1999. Heterosis en cruces intervarietales de maíz. *In: Memorias XIV Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano de Mejoramiento de Cultivos y Animales*. Guatemala. 42p.

Wellhausen E., J., L. M. Roberts y E. Hernández X. 1951. *Razas de maíz en México, su Origen, Características y Distribución*. Oficina de Estudios Especiales. Secretaria de Agricultura y Ganadería. México, D.F. 237p.