

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



**Estimación de parámetros genéticos en 8 variedades criollas
de maíz.**

Por:

ANGEL ENRIQUE CAAMAL DZUL

T E S I S:

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.

Abril, 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Estimación de parámetros genéticos en 8 variedades criollas
de maíz.

Por:

ANGEL ENRIQUE CAAMAL DZUL

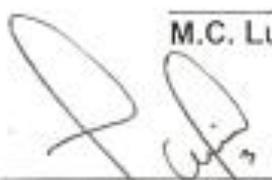
T E S I S:

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

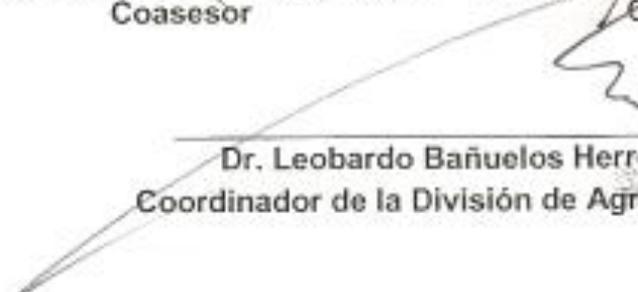
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por:


M.C. Luis Angel Muñoz Romero
Asesor Principal


Dr. Armando Rodríguez García
Coasesor


Ing. Alfredo Fernández Gaytán
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Abril, 2012


Coordinación
División de Agronomía

DEDICATORIA

A DIOS, *por darme la oportunidad de culminar esta importante meta de mi vida.*

A MIS PADRES

Sra. María Catalina Dzul Cauch

Sr. Margarito Caamal Cauch

Con cariño y respeto, a quienes con sus consejos y apoyo incondicional, a pesar de sus escasos recursos, lograron hacer de mi la persona que hoy cumple con una de las metas establecidas en mi vida. Son y serán mi motivación para seguir adelante, Los quiero.

A MIS ABUELOS: **Teodora Cauch y Martiniano Dzul**, *por su apoyo y sus sabios consejos que siempre me brindaron.*

A MIS HERMANOS: **Manuel, Víctor, Carlos, Alex, Armando, Reyna Victoria y Jesús.** *Por brindarme su amistad y apoyo que siempre me motivo para salir adelante. En especial a mi hermano Manuel por su apoyo moral y económico, que siempre estuvo pendiente de mí y siempre se ha preocupado por nosotros y la familia. Por los momentos alegres y tristes que hemos compartido, Dios los bendiga y los lleve por el buen camino.*

A MIS TÍOS Y TÍAS: *Que nunca dejaron de insistir en terminar satisfactoriamente mis estudios profesionales. Por la confianza, amistad y cariño que me han brindado.*

A MIS PRIMOS (AS): *Con los que he pasado momentos muy alegres en mi vida.*

A MIS AMIGOS: *Mis mejores amigos, quienes han sido como hermanos, aquellos que a pesar de los tiempos difíciles, siempre estuvieron ahí cuando más se les necesito, a mis compañeros de la generación CXII, y todos los demás que sin ser mencionados, han convivido conmigo, mil gracias por su sincera amistad y apoyo en todo momento.*

AGRADECIMIENTOS

A mi gloriosa “**Alma Terra Mater**”, la **Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”**. Por darme la oportunidad de continuar con mis estudios de licenciatura, y lograr una meta más en mi vida.

AL M.C. LUIS ÁNGEL MUÑOZ ROMERO, profesor investigador del departamento de fitomejoramiento, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación, así como la dirección del mismo.

AI DR. ARMANDO RODRÍGUEZ GARCÍA, por su amistad y excelente calidad humana, sumadas a su disponibilidad, aportaciones y sugerencias en mejorar este trabajo de tesis.

AL ING. ALFREDO FERNÁNDEZ GAYTÁN, por su apoyo y valiosa aportación como revisor para la culminación de este proyecto.

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO: Por el gran apoyo brindado durante mi formación profesional.

A LOS PROFESORES: Aquellos que fueron clave para mi formación académica, incluyendo los de enseñanza básica como nivel profesional, ya que de ellos adquirí las herramientas y conocimientos muy valiosos, que me serán útil para salir adelante.

Sinceramente

Angel Enrique Caamal Dzul

ÍNDICE DE CONTENIDO

Tema	Página
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
RESUMEN.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
El maíz criollo.....	4
Importancia de los maíces criollos.....	4
Heterosis.....	5
Aptitud combinatoria general y específica.....	7
Estimación de varianzas genéticas.....	8
Diseños genéticos.....	10
Heredabilidad.....	12
MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
Localización del experimento.....	14
Material genético.....	15
Mecánica de cruzamientos en la formación del dialélico.....	15
Diseño y parcela experimental.....	15
Toma de datos.....	16
Análisis de varianza.....	17
Análisis dialélico.....	17
Estimación de los efectos de ACG(\hat{g}_i)y ACE (\hat{S}_{ij}).....	19
Estimación de la varianza asociadas a los efectos de ACG (\hat{g}_i^2)y ACE(\hat{S}_i^2).....	20
Estimación de los componentes de varianza.....	20

Estimación de la heredabilidad.....	21
Estimación de los efectos heteróticos.....	22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
Análisis de varianza.....	23
Análisis dialélico.....	24
Estimación de los efectos de aptitud combinatoria general (\hat{g}_i) y aptitud combinatoria específica (\hat{s}_{ij}) y sus varianzas asociadas.....	27
Heredabilidad.....	35
Heterosis.....	36
CONCLUSIONES.....	42
LITERATURA CITADA.....	44

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
3.1. Estructura del análisis de varianza correspondiente al diseño IV de Griffing, para el cálculo del análisis de Aptitud Combinatoria General y Específica.....	18
4.1. Cuadrados medios, significancias y coeficientes de variación (C.V),de 11 características de maíz evaluadas en Irapuato, Gto.....	23
4.2. Cuadrados medios de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) y sus respectivos componentes de varianza para las 11 características estudiadas.....	25
4.3. Componentes de varianza genética aditiva (σ^2_A) y varianza de dominancia (σ^2_D) y % en relación a la varianza genética total.....	27
4.4. Comportamiento de las 8 variedades de maíz en base a los efectosde aptitud combinatoria general (\hat{g}_i) para 11 características y su media fenotípica.....	28
4.5. Varianzas asociadas a los efectos de aptitud combinatoria general(\hat{g}_i^2)y aptitud combinatoria específica(\hat{S}_{ij}^2)para 11 características estudiadas.....	29
4.6. Comportamiento de 28 cruzas en base a sus efectos de aptitud combinatoria específica para 11 características.....	33
4.7. Valores de heredabilidad en sentido amplio sentido amplio (H^2) y sentido estrecho (h^2) para 11 características obtenidos a partir del análisis dialélico.....	35
4.8. Porcentaje de valores heteróticos en función al porcentaje medio (h_1) y al mejor progenitor (h_2) en 11 características.....	39

RESUMEN

Los diseños de cruzas dialelicas han demostrado ser una herramienta ordinariamente útil en el mejoramiento de plantas y animales, para obtener información experimental que permita evaluar aspectos genéticos asociados con un conjunto de progenitores. La finalidad de este trabajo fue evaluar el comportamiento genético de 8 variedades criollas de maíz y sus cruzas, con base en los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), estimar la heterosis y heredabilidad de los caracteres en estudio para identificar las mejores combinaciones y determinar que método de mejoramiento se debe de aplicar a la población.

Se evaluaron 28 cruzas posibles entre 8 variedades criollas de maíz. Las variables fueron días a floración(DF), altura de planta(AP), altura de mazorca(AM), numero de hojas arriba de la mazorca(NHAM), longitud de mazorca(LM), diámetro de mazorca(DM), numero de hileras por mazorca(NHM), granos por hilera de mazorca(GHM), diámetro del olote(DO), numero de mazorca total(NMT) y rendimiento(REND), con un diseño experimental de bloques al azar, 3 repeticiones y una localidad en Irapuato, Guanajuato. Se utilizo el diseño IV de Griffing para la estimación de los parámetros genéticos, encontrando diferencias estadísticas ($p \leq 1\%$) para ACG y ACE para la mayoría de las variables, excepto DF en ambos. De los resultados obtenidos, se encontró como más importantes a los efectos no-aditivos (ACE), que a los aditivos (ACG). Así también, se observó que los mejores cruzamientos para rendimiento en relación al mejor progenitor resultaron ser 2 x 7 y 1 x 7 con 119.29 % y 112.96 % respectivamente, correspondiendo a los progenitores: criollo # 7, criollo # 2 (purísima) y olote colorado. Por lo que se sugiere derivar líneas de los materiales superiores que mostraron mejor ACE para formación de híbridos experimentales.

Palabras Claves: Parámetros genéticos, aptitud combinatoria, heterosis, cruzas dialélicas, maíz.

Abstract

Diallel crosses designs to demonstrated being a tool ordinarily usefull in the plant and animal breeding, to obtain experimental information allowing to evaluate different genetical aspects in relationship with a set of parents. The finality of this study was to evaluate the genetic performance of eigh landrace varieties of maize and their crosses, based on the effects of general combining ability (ACG) and specific combining ability (ACE), to estimate the heterosis and heritability of the traits on study for identify the best combinations and determine that breeding methods apply to the populations.

The twenty-eighth possible crosses among 8 landrace varieties of maize. The variables included days to flowering(DF), plant height(AP), ear heigth(AM),number of leaves above the ear(NHAM), ear length(LM), ear diameter(DM), number of rows on ear(NHM), number of grains for row to ear(GHM), diameter cob(DO), total number of ear(NMT) and yield(REND), with a random block experimental design, tree replications and one location in Irapuato, Guanajuato.Genetic parameters were estimatedwith a diallel Griffing method IV. Statistical differences ($p \leq 1\%$) for ACG and ACE were found for most variables, except DF in both. The results showed that no-additives effects (SCA)were more important that additive effects (GCA). It was found that to yield (REND) the best crosses in relations parent best proved to 2 x 7 y 1 x 7 with 119.29 % y 112.96 % severally , correspond to parentals: landrace # 7, landrace # 2 (untainted) and cob colored. For which it is suggested that lines be produced of the best materials that showed highest ACE for producedexperimental hybrids.

Key words: genetic parameters, combining ability, heterosis, diallel crosses, maize.

INTRODUCCIÓN

En México, alrededor del 70 % de la superficie maicera se cultivan con variedades criollas. La obtención de variedades genéticamente mejoradas prácticamente se ha dirigido a maíces híbridos, cuyo potencial productivo es para áreas ambiental y económicamente privilegiadas. En regiones en donde la agricultura es tradicional o subsistencial existen pocas poblaciones de maíz mejoradas; de manera que cuando se trata de introducir material mejorado para otras condiciones, generalmente no se adaptan, dado que no fueron creados para dichas regiones; en donde priva la agricultura tradicional o subsistencial. (Márquez *et al*, 2000).

Por otra parte, emprender programas de mejoramiento genético específico, para regiones de tales tipos de agricultura sería prácticamente imposible dado la tremenda variabilidad ambiental y étnica que se encuentra en la república Mexicana. De la misma forma, si dichos programas partieran de las variedades criollas regionales, sus resultados tomarían bastante tiempo, dado que incrementar las frecuencias génicas de los caracteres que se desearan mejorar, significa un proceso de selección a largo plazo y que no garantizaría ganancias substanciales que justificarían la inversión (Márquez *et al*, 2000).

Ante estas circunstancias el mejorador debe enfrentar con anticipación el diseño y desarrollo de variedades de maíz apropiadas para una agricultura intensiva y altamente desarrollada, para lo cual el estudio de los tipos de acción génica involucrados en los atributos de interés agronómico y del rendimiento de grano, es un requisito indispensable (Martínez *et al*, 1996)

Por ello, cuando se inicia la selección de un nuevo germoplasma, es de suma importancia conocer el tipo de acción génica presente para cada carácter bajo consideración y, con base en ello, elegir las estrategias más apropiadas de mejoramiento genético (Cueto, 1999).

Para que la selección sea eficaz, es conveniente que se base en la estimación de parámetros genéticos de las características de importancia, mediante el análisis estadístico de datos fenotípicos de las progenies segregantes, de los progenitores o de ambos (Espinosa *et al.*, 2010).

Por lo tanto la elección del diseño genético que se deba emplear para conocer algunas propiedades genéticas de la población de interés estará en función de los objetivos de la investigación. Los análisis dialélicos constituyen una herramienta útil para caracterizar y estimar los parámetros genéticos de progenitores y sus cruzas, mediante su aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), permiten definir el método de mejoramiento genético más adecuado (Hallauer y Miranda, 1981), predecir cruza superiores y seleccionar plantas individuales que combinen las mejores características de los progenitores.

OBJETIVOS

- 1.-Determinar el comportamiento genético de 8 criollos de maíz y sus cruzas, estimando los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE).
- 2.-Obtener los estimados de la varianza genética y fenotípica de los caracteres en estudio mediante un análisis dialélico (Griffing).
- 3.-Estimar la heterosis de los caracteres en estudio.
- 4.-Estimar la heredabilidad de los caracteres en estudio.

HIPÓTESIS

- 1.-Dentro de los materiales evaluados al menos uno es superior en sus efectos de aptitud combinatoria.
- 2.-Algunos materiales podrán ser utilizados en proyectos de mejoramiento poblacional, y otros para obtener líneas para formación de híbridos.
- 3.-En las cruzas experimentales efectuadas existen combinaciones con un potencial de heterosis aceptable en algunas características de importancia agronómica.

REVISIÓN DE LITERATURA

El maíz criollo

El maíz es originario de México, es descendiente del Teocintle y se reconoce que los campesinos mesoamericanos desde hace más 7 mil años lo han cultivado y mejorado. Actualmente la conservación de este importante recurso genético se lleva a cabo por los agricultores, principalmente los tradicionales, quienes basan su alimentación en el maíz y otros productos locales.

En el caso del maíz, México tiene una diversidad caracterizada por una alta cantidad de variedades mejoradas, tradicionales o criollas y parientes silvestres que se cultivan en diversas regiones. A través del tiempo, las comunidades rurales e indígenas han logrado esta diversidad que representa un legado para la humanidad. (http://www.conanp.gob.mx/maiz_criollo/)

Importancia de los maíces criollos

La gama de maíces criollos, aunque son de bajo rendimiento, sobresalen por su adaptabilidad a condiciones adversas, capaces de sobrevivir donde los maíces mejorados no tienen oportunidad, debido al estrés hídrico a que están expuestos y por su ciclo vegetativo de intermedio a tardío.

Productores de las regiones temporaleras prefieren sus maíces criollos, por la adaptación a las condiciones ambientales de sus parcelas, por la facilidad para su procesamiento, por las características de los alimentos que con ellos se

preparan y porque satisfacen las necesidades de su ganado (forraje), atributos que están ligados sobre todo a aspectos culturales ((Pérez *et al.*, 2006 citado por Vázquez *et al.*, 2010). De manera general, la preferencia entre los distintos tipos de maíz es por atributos de color, sabor, textura, consistencia de las tortillas y facilidad de la masa para trabajarla.

Otra opción para mejorar las variedades criollas para que puedan utilizarse en regiones ecológicas con alto potencial productivo, es el aprovechamiento de la heterosis, que comúnmente se encuentra en materiales de distinto origen (Holland *et al.*, 1996; Tallury y Goodman, 1999 Citados por Ramírez *et al.*, 2003); en este caso sería aprovechada la combinación de las variedades criollas con las mejoradas.

Según Márquez (1991) para la formación de variedades, el punto de partida ha sido las variedades “criollas” para lo cual, se hacen pruebas en años y localidades con el propósito de detectar el grupo superior, para liberar alguna variedad como tal, o bien someterla al proceso de mejoramiento genético de poblaciones.

Heterosis

Un método para conocer el contenido genético de las poblaciones y establecer relaciones de parentesco, es determinar la heterosis o vigor híbrido de sus cruzas, ya que a mayor heterosis se infiere mayor divergencia genética entre poblaciones progenitoras, lo cual se fundamenta en el principio de diferencias en las frecuencias génicas entre las poblaciones cruzadas (Falconer, 1981).

Las bases biológicas de la heterosis son desconocidas y se han presentado varias hipótesis. Shull fue uno de los primeros en intentar una

explicación de la heterosis en el cultivo del maíz. Su hipótesis sobre inducción fisiológica describe al fenómeno como resultante del efecto estimulante de los pares de genes heterocigotos en el organismo. Desde entonces la heterocigosis en sí, fue considerada como factor de control. (Gardner, 1974).

Otra teoría postula que los genes dominantes son los responsables para el incremento de vigor y supone que estos genes tienden a acumularse en las líneas endogámicas por azar, mutaciones y selección. Las cruzas entre líneas endogámicas darían como resultado plantas F_1 heterocigóticas que expresan las mismas características de ambas líneas endogámicas, las cuales están controladas por los genes dominantes. Bajo este sistema, se esperaría que la expresión, máxima del vigor se diera en individuos con el número máximo de loci con alelos dominantes (Gardner, 1974).

Morales (1999) define la heterosis o vigor híbrido como el fenómeno genético que se presenta en la mayoría de los híbridos, el cual es superior en vigor al promedio de sus progenitores, conocido también como progenitor medio.

Se ha comprobado que el efecto de heterosis existe prácticamente en todas las especies cultivadas, siendo el maíz la especie en la cual mas estudios se han realizado y explotado (De León, 1981).

Por otro lado Mendoza *et al.* (2000), menciona que la magnitud de la heterosis encontrada es de mucha importancia para decidir si el mejoramiento es o no práctico y económico de esta manera iniciar la toma de decisiones para el desarrollo de nuevos híbridos. La medición de la heterosis se puede determinar bajo tres formas:

- 1) A partir del promedio de los progenitores que tiene poco usos para los mejoradores, no así para el genetista cuantitativo que busca el

comportamiento de ambos padres $H = (F1 - PP) / PP$ donde, (H= heterosis, PP= promedio de los padres).

2) En cambio la heterosis basada en el mejor progenitor $H = (F1 - MP) / MP$ donde, (H= heterosis, MP= mejor progenitor) pero no tiene significado para el genetista.

3) La heterosis útil es considerada la más práctica en el desarrollo de híbridos $H = (F1 - VC) / VC$ donde, (H=heterosis, VC= material comercial) dado que se requiere comparar los nuevos híbridos con los existentes en el mercado.

Aptitud combinatoria general y específica

El término aptitud combinatoria general (ACG) se emplea para designar al comportamiento medio de una línea en sus combinaciones híbridas; y el término aptitud combinatoria específica (ACE), para designar los casos en los que ciertas combinaciones se comportan relativamente mejor o peor de lo que podría esperarse, sobre la base del comportamiento promedio de las líneas involucradas (Sprague y Tatum, 1942).

Desde entonces con su aplicación, los términos de aptitud combinatoria han sido utilizados con bastante éxito por el mejorador de plantas: esto ha contribuido a la elección de progenitores sobresalientes que participan en el desarrollo de nuevos cultivares (Mendoza *et al.*, 2000).

En sus inicios la aptitud combinatoria fue un concepto general, utilizado para la clasificación de una línea en relación con su comportamiento en cruces; La estimación de la aptitud combinatoria de una línea autofecundada es fundamental para la formación de híbridos o variedades sintéticas, sin embargo,

actualmente se estima en familias, variedades, cruza simples o en cualquier material que se use como progenitor en las cruza (Antuna, 2001).

Oyervides (1993) indica como parámetros útiles en el desarrollo de híbridos a la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) de los genotipos, en donde la ACG es el comportamiento promedio de un genotipo en una serie de cruza; la ACE es la desviación del comportamiento de una combinación híbrida de lo esperado, según las ACG de sus progenitores. Se ha demostrado que la ACG de familias se hereda a las líneas que se derivan de estas familias. Por lo tanto, los híbridos que se generen a partir de líneas derivadas de las familias con mejores efectos de ACG tendrán una alta probabilidad de ser sobresalientes.

La aptitud combinatoria general se debe a efectos génicos aditivos, y es la estimación de la cuantía de los efectos de los genes de acción aditiva, mientras que la aptitud combinatoria específica está en función de los efectos no aditivos, como la dominancia y/o epistasis (Sprague y Tatum citados por Castañón *et al*, 2000).

Estimación de varianzas genéticas

La idea básica del estudio de la variación es su partición en componentes atribuibles a diferentes causas. La magnitud relativa de estas componentes determina el grado de parecido entre parientes. La cantidad de variación se mide y se expresa como la varianza: cuando los valores se expresan como desviaciones con respecto a la media de la población la varianza es simplemente la media de dichos valores al cuadrado. La varianza total es la varianza fenotípica, o la varianza de los valores fenotípicos y es la suma de los diferentes componentes. Dichos componentes que constituyen la varianza total

son la varianza genotípica (varianza de los valores genotípicos), y la varianza ambiental, que es la varianza de las desviaciones ambientales (Falconer, 1984).

En 1918 Fisher citado por Allard (1980) hizo el primer intento de hacer la partición de la varianza genotípica en sus componentes. De la varianza hereditaria reconoció tres componentes:

- 1) Una parte aditiva que describe la diferencia entre homocigotos en un locus cualquiera.
- 2) Un componente correspondiente a la dominancia que proviene de interacciones de alelos (interacción intralélica).
- 3) Una parte epistática asociada con las interacciones entre no alelos (interacción interalélica o epistasia).

Según Falconer (1984) la varianza genotípica se compone de varianza aditiva, dominante (o de dominancia) y de interacción (o epistática); de éstas la más importante es la varianza aditiva (varianza de los valores reproductivos), ya que es la causa principal del parecido entre parientes y determinante de las propiedades genéticas observables de la población (heredabilidad y correlación genética aditiva) y de la respuesta positiva a la selección. La varianza genotípica se origina por las diferencias que existen entre genotipos, por lo que mientras sea mayor el número de loci segregantes, mayor será el número de genotipos diferentes en la población (Molina, 1992).

Cockerham (1963) citado por Celis (1981), menciona que las varianzas genéticas pueden ser estimadas de muchas formas. Los progenitores son apareados siguiendo algún sistema de apareamiento (diseño de apareamiento) y la progenie se hace crecer en ciertas condiciones ambientales (diseño de campo). Las observaciones cuadráticas de campo permiten estimar los

componentes de la varianza y covarianza del diseño, que son interpretadas genética y ambientalmente. Es natural que los diseños empleados con más frecuencia sean aquellos que pueden ser fácilmente analizados con procedimientos estadísticos comunes y que pueden ser interpretados en componentes de varianza del diseño; y para su interpretación genética, dichos componentes se pueden trasladar a covarianzas de parientes y estas a su vez se pueden interpretar en términos de componentes de la varianza genética.

Diseños genéticos

Los diseños de tratamientos de cruzas dialélicas son utilizados en investigaciones sobre mejoramiento en plantas y animales con el propósito de obtener información experimental que permita evaluar aspectos genéticos asociados a "p" progenitores. En el área vegetal, en las últimas cuatro décadas estos diseños han proporcionado información sobre los efectos de aptitud combinatoria general y específica, efectos maternos y recíprocos, además de sus componentes de varianza, importantes para la toma de decisiones en el plan de mejoramiento a seguir y en la selección de materiales para los programas de mejoramiento (Mastache y Martínez, 2003).

El termino también es conocido como diseños de apareamiento y son planes de cruzamiento entre individuos de una población, con el objeto de estudiar teóricamente los efectos genéticos y sus varianzas que se presentan en las progenies, para enseguida relacionar aquellos con los datos empíricos de tales progenies, y poder estimar los parámetros genéticos que interesen. Generalmente estas son las varianzas genéticas, ambientales y fenotípicas, a fin de obtener estimaciones de heredabilidad (en sentido estrecho o amplio), para hacer predicciones de la respuesta de selección (Márquez, 1985).

Dentro de los diseños genéticos se encuentran fundamentados dos clases a conocer: a) los diseños completos, y b) los diseños incompletos o parciales. Los primeros fueron introducidos formalmente por Griffing (1956). En los diseños completos los ensayos comprenden todas las cruzas simples que puedan generarse entre P progenitores.

En plantas de reproducción sexual, es posible efectuar cruzas dialélicas que incluyan autofecundaciones, cruzas directas y cruzas recíprocas. En función de éstas, Griffing (1956) propuso cuatro diseños básicos:

Diseño 1. Comprende la evaluación de los p progenitores, las F_1 directas y las F_1 recíprocas; es decir las p^2 combinaciones.

Diseño 2. Evalúa los p progenitores y las F_1 directas; es decir $p(p + 1) / 2$ combinaciones.

Diseño 3. Evalúa F_1 directas y F_1 recíprocas, o sea las $p(p - 1) / 2$ combinaciones.

Diseño 4. Evalúa sólo las $p(p - 1) / 2$ cruzas directas.

Los diseños dialélicos 1 y 3 de Griffing (1956) se usan para estudiar efectos maternos ya que incluyen las cruzas directas y recíprocas entre los p progenitores. Los diseños dialélicos 2 y 4 permiten estimar las varianzas aditiva y de dominancia, así como obtener los efectos de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica, además son una alternativa para la investigación con recursos limitados.

La elección del diseño genético estará en función de los objetivos de la investigación. Deberá escogerse el más práctico y sencillo, pero que proporcione la información necesaria. Por ejemplo, si se desea cuantificar nada más la variación genética, un diseño de un factor es suficiente. En cambio se

quiere estimar, la varianza aditiva y la varianza de dominancia, esto se podrá hacer con un diseño de dos o más factores. Ahora bien, si se tratara de incluir la estimación de varianza epistática, se debe ocupar un diseño de tres factores o todavía más complejo (Dudley y Moll, 1969 citado por Cadenas, 2004).

Heredabilidad

El termino heredabilidad se utiliza para indicar el grado en que el fenotipo refleja al genotipo para un carácter particular dentro de una población de plantas; pero lo más importante es la parte que es reflejada en su descendencia, en este caso, la proporción de variación genotípica observada en la planta (Reyes, 1985).

La heredabilidad fue definida por Falconer (1981), como la importancia relativa de la herencia en la determinación de los valores fenotípicos de los individuos. En general diferenciamos entre heredabilidad en el sentido amplio o estrecho, dependiendo de si estudiamos el grado de la determinación genética de un carácter, o si estudiamos el grado al cual los fenotipos son determinados por el efecto aditivo de los genes transmitidos de los padres a los descendientes.

Molina(1992), menciona que la heredabilidad puede expresarse de las siguientes dos maneras: (1) como el cociente de la varianza genotípica (σ^2_g) entre la varianza fenotípica (σ^2_f), esta heredabilidad es en sentido amplio (H^2), y representa el porcentaje de la varianza fenotípica (observada) atribuible a los efectos totales de los genes de una población, y (2) se conoce como heredabilidad en sentido estricto o restringido (h^2) al cociente de la varianza genética aditiva (σ^2_A), entre la varianza fenotípica total.

Según Robles (1986) conocer la heredabilidad es de suma importancia, ya que es un buen indicador que la selección de los individuos (progenitores) para producir la siguiente generación, resultará en descendientes (progenie) con fenotipos de caracteres similares. Además, la heredabilidad sirve para elegir y decidir la metodología de mejoramiento más apropiado a seguir, pues el avance que se logre dependerá de la proporción que corresponda a la varianza aditiva (V_A) en la característica de interés. Este aspecto se ve mejor si se considera solamente la proporción V_A con respecto a la V_D (varianza de dominancia) para determinar su importancia y metodología a seguir. De forma que si:

- $V_A / V_D < 1$; hacer hibridación.
- $V_A / V_D > 1$; hacer selección.
- $V_A / V_D = 1$; hacer hibridación o selección.

Debido a que no existe una escala definida para clasificar magnitud de la heredabilidad, según Robles (1986) se puede considerar arbitrariamente los siguientes rangos; como heredabilidad baja de 0 a 0.3; media de 0.3 a 0.7 y alta de 0.7 a 1.0. Sin embargo Chávez (1993) señala que cualquier fracción que este dentro de cero a uno puede ser considerada para medir el carácter heredabilidad. Aunque no esté muy entendido lo que se refiere por alta o baja heredabilidad, en general son aceptables estos valores:

- Alta heredabilidad (> de 0.5).
- Heredabilidad media (de 0.2 a 0.5).
- Baja heredabilidad (< de 0.2).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

El presente trabajo de investigación se llevo a cabo en la finca de la Escuela de Agronomía y Zootecnia de la Universidad de Guanajuato, con sede en Irapuato; Gto, durante el ciclo de verano 2009.

Irapuato está situado en las coordenadas geográficas: 101°20'48" de longitud oeste del meridiano de Greenwich y a los 20°40'18" de latitud norte. Su altura promedio sobre el nivel del mar es de 1,730 msnm. Colinda al Norte con los municipios de Guanajuato y Silao; al Sur con los municipios de Abasolo y Pueblo nuevo; Al Oriente con el municipio de Salamanca; y al Poniente con los municipios de Romita y Abasolo.

Cuenta con un clima Semicálido subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad (94.9%), templado subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad (2.8%) y templado subhúmedo con lluvias en verano de humedad media (2.3%) con una precipitación pluvial 600-900 mm.

Se distinguen cinco tipos de suelos dominantes Vertisol (65.4%), Phaeozem (18.6%), Cambisol (3.9%), Chernozem (2.9%) y Regosol (0.3%), la temperatura media anual es de 19.6°C, el mes más cálido se registra en mayo con valor de 24°C, mientras que el más frío es el de enero con un valor de 15.2°C. (http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_guanajuato).

Material genético.

En el presente trabajo el material genético utilizado lo formaron 8 variedades de maíz criollos colectados en diferentes municipios del estado de Guanajuato (Pénjamo, Irapuato, Cuerámara, Huanímaroy Salvatierra).

Mecánica de cruzamientos en la formación del Dialélico.

El procedimiento utilizado para efectuar los cruzamientos entre los 8 materiales criollos seleccionados fue el siguiente: antes del inicio de la floración femenina se procedió a “jilotear” en cada una de las variedades colocando bolsas de glaciene para evitar contaminación con polen extraño; después de 5 días se procedió a colectar polen de las parcelas de los progenitores machos que participarían en el dialélico ,cubriendo un mínimo de 80 espigas para tener una muestra representativa de los gametos masculinos, procediéndose a llevarlo a las parcelas hembra .

En cada uno de los cruzamientos de la serie dialélica se cosecharon alrededor de 30 mazorcas, las cuales se desgranaron y mezclaron mecánicamente para efectuar los ensayos de rendimiento.

Diseño y parcela experimental

Las 28 cruzaas obtenidas en el dialélico fueron evaluadas en un diseño de bloques al azar con 3 repeticiones; la parcela experimental estuvo constituida de 4 surcos de 5 mts de longitud, con una separación entre surcos de 0.75 mts con 4 plantas por metro; utilizando como parcela útil los 2 surcos centrales.

Toma de datos

Antes y durante la cosecha se tomaron los siguientes datos en cada parcela en forma aleatoria:

- 1.-Días a floración (DF): días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas estaban en antesis(emisión de polen).
- 2.-Altura de planta (AP): expresada en mts desde la base del suelo a la parte superior de la espiga.
- 3.-Altura de mazorca (AM): distancia en mts desde la superficie del suelo al punto de inserción de la primera mazorca (principal).
- 4.-Número de hojas arriba de la mazorca principal (NHAM): número de hojas arriba de la mazorca principal.
- 5.-Longitud de la mazorca (LM): expresada en cms desde la base a la punta de la mazorca.
- 6.-Diámetro de mazorca (DM): grosor de la parte media de la mazorca expresada en cms.
- 7.-Número de hileras por mazorca (NHM): conteo directo.
- 8.-Granos por hilera de la mazorca (GHM): conteo directo en una hilera.
- 9.-Diámetro del olote (DO): grosor del olote en la parte central expresada en cms.
- 10.-Número de mazorcas total (NMT): conteo directo.
- 11.-Rendimiento (REND): peso total de cada parcela expresado en Kg.

Análisis de varianza

Con los datos obtenidos, se efectuaron análisis de varianzas para cada una de las variables estudiadas, utilizándose un diseño de bloques al azar con el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Es el valor fenotípico de la i - ésima observación en el j -ésimo bloque.

μ = Media general.

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

β_j = Efecto de j - ésimo bloque.

E_{ij} = Error experimental.

La hipótesis nula (H_0) la constituye la no diferencia estadística entre los tratamientos para cada una de las variables en estudio.

Análisis dialélico

Para analizar la aptitud combinatoria de los materiales en estudio para cada una de las características, se utilizó el método dialélico 4 de Griffing (1956); en el cual se examinan los $P(P-1)/2$ cruzas en un solo sentido.

El modelo estadístico utilizado para el análisis del experimento es el siguiente:

$$Y_{ijk} = u + g_i + g_j + S_{ij} + r_k + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Valor fenotípico de la ij^{th} cruce o progenitor de la k^{th} repetición.

u = La media general.

g_i = Efecto de la ACG del padre i^{th} .

g_j = Efecto de la ACG del padre j^{th} .

S_{ij} = Efecto de la ACE del i^{th} progenitor, con el j^{th} progenitor

r_k = El efecto de la repetición k^{th} .

e_{ijk} = Efecto ambiental de la ij^{th} cruce de la k^{th} repetición.

En el Cuadro 3.1 se presenta la estructura del análisis de varianza correspondiente al diseño IV de Griffing.

Cuadro 3.1. Estructura del análisis de varianza correspondiente al diseño IV de Griffing, para el cálculo del análisis de Aptitud Combinatoria General y Específica.

FV	GL	SC	CM	ECM
ACG	$p-1$	$\sum_{i=1}^n \frac{(xi.)^2}{p-2} - \frac{4(x..)2}{p(p-2)}$	CMg	$\sigma_e^2 + \sigma_{s+}^2 + (p-2)\sigma_g^2$
ACE	$\frac{p(p-3)}{2} \sum_i \sum_{ij} (xij)^2 - \sum_{i=1}^n \frac{(xi)^2}{p-2} + \frac{2(x..)2}{(p-1)(p-2)}$		CMs	$\sigma_e^2 + \sigma_s^2$

Estimación de los efectos de ACG(\hat{g}_i)y ACE (\hat{S}_{ij})

Con el propósito de observar el comportamiento de cada una de las variedades y sus cruzas en cada una de las características en estudio, se efectuó la estimación de la ACG Y ACE mediante las siguientes formulas:

$$\hat{u} = \frac{2x_{..}}{p(p-1)}$$

$$\hat{g}_i = \frac{1}{p(p-2)} [pX_{i.} - 2X_{..}]$$

$$\hat{S}_{ij} = X_{ij} - \frac{1}{p-2} (X_{i.} + X_{j.}) + \frac{2}{(p-1)(p-2)} X_{..}$$

Donde:

\hat{g}_i = Aptitud combinatoria general (ACG) del i-ésimo progenitor.

\hat{S}_{ij} = Aptitud combinatoria específica (ACE) de la craza entre el i-ésimo y j-ésimo progenitor.

p = Progenitores.

$X_{i.}$ = Suma de las cruzas donde interviene el i - ésimo progenitor.

$X_{j.}$ = Total del progenitor j.

X_{ij} = Total de la craza.

$X_{..}$ = Gran total.

Estimación de la varianza asociadas a los efectos de ACG (\hat{g}_i^2) y ACE (\hat{s}_i^2)

Para la estimación de estos efectos de ACG Y ACE se utilizaron las siguientes formulas:

$$\sigma \hat{g}_i^2 = g_i^2 - \frac{(p-1)\hat{\sigma}_e^2}{p(p-2)} \quad \sigma \hat{s}_i^2 = \frac{\sum_{j \neq i}^n (\hat{s}_{ij})^2}{p-2} - \frac{(p-3)\hat{\sigma}_e^2}{p-2}$$

Estimación de los componentes de varianza.

A partir del análisis de varianza para cada una de las variables en estudio se procedió a estimar los componentes de varianza despejando los valores esperados de los cuadrados medios respectivos, de la siguiente forma.

$$\sigma^2 g = \frac{CMg - CMs}{(p-2)} \quad \sigma^2 s = CMs - CM_E$$

Con el propósito de estimar las varianzas genéticas, se considero que el coeficiente de endogamia es igual a cero ($F=0$); procediendo de la siguiente manera.

$$\sigma^2 g = Cov (MH) = \frac{1}{4} \sigma^2_A$$

$$\sigma^2 s = Cov (HC) - 2Cov (MH) = \frac{1}{4} \sigma^2_D$$

Donde:

$$\text{Cov (MH)} = \frac{1}{4}\sigma^2_A$$

$$\text{Cov (HC)} = \frac{1}{2}\sigma^2_A + \frac{1}{4}\sigma^2_D$$

σ^2_A = Varianza aditiva

σ^2_D = Varianza de dominancia

σ^2_G = Varianza genetica = $4\sigma^2_g + 4\sigma^2_s = \sigma^2_A + \sigma^2_D$

σ^2_P = Varianza fenotípica = $4\sigma^2_g + 4\sigma^2_s + \sigma^2_e$

Estimación de la heredabilidad

La heredabilidad fue estimada para cada una de las variables en estudio, tanto en sentido amplio (H^2) como en sentido estrecho (h^2) mediante las siguientes formulas.

$$H^2 = \frac{\sigma^2_G}{\sigma^2_P} \quad h^2 = \frac{\sigma^2_A}{\sigma^2_P}$$

Donde:

H^2 = Heredabilidad en sentido amplio.

h^2 = Heredabilidad en sentido estrecho.

σ^2_G = Varianza genetica

σ^2_A = Varianza aditiva.

σ^2_P = Varianza fenotípica o total.

Estimación de los efectos heteróticos.

El porcentaje de heterosis en las 28 cruzas posibles entre los 8 progenitores; fue estimada en base a la media de los progenitores (h_1) y en base al mejor progenitor (h_2) de la siguiente manera.

$$h_1 = \frac{\bar{F}_1}{PM} \times 100 \qquad h_2 = \frac{\bar{F}_1}{MP} \times 100$$

Donde:

\bar{F}_1 = Valor fenotípico medio.

PM = Progenitor medio.

MP = Mejor progenitor.

RESULTADOS Y DISCUSION.

Análisis de varianza.

En el cuadro 4.1 se presentan los resultados del análisis de varianza para cada uno de las características en estudio: Días a floración(DF); Altura de planta(AP); Altura de mazorca(AM); Numero de hojas arriba de la mazorca(NHAM); Longitud de mazorca(LM); Diámetro de mazorca(DM); Numero de hileras por mazorca(NHM); Granos por hilera de mazorca(GHM);Diámetro del olote(DO); Numero de mazorca total(NMT) y Rendimiento(REND).

Cuadro 4.1.Cuadrados medios, significancias y coeficientes de variación (C.V), de 11 características de maíz evaluadas en Irapuato, Gto.

F.V	G.L	DF	AP	AM	NHAM	LM	DM	NHM	GHM	DO	NMT	REND
Rep	2	2.95	0.178**	0.053	0.189	0.106	0.109	0.338	1.023	0.121	71.93**	0.695
Trat	27	19.68	0.0282	0.022	0.080	1.070	0.033	2.219	6.839	0.036	12.25	1.018
ε.ε	54	16.13	0.021	0.018	0.174	1.125	0.045	2.167	5.278	0.061	10.06	0.905
C.V.%		5.59	5.74	9.33	7.05	6.56	4.43	10.71	6.68	9.68	7.31	13.12

**significativo al 1 % de probabilidad;DF=Días a floración; AP=Altura de planta; AM=Altura de mazorca; NHAM=Numero de hojas arriba de la mazorca; LM =Longitud de mazorca; DM=Diámetro de mazorca; NHM=Numero de hileras por mazorca; GHM=Granos por hilera de mazorca; DO =Diámetro del olote; NMT = Numero de mazorca total y REND=Rendimiento.

En el cuadro 4.1 se puede observar que para la fuente de variación repeticiones, se encuentra una diferencia altamente significativa para la variable altura de planta (AP) y numero de mazorca total (NMT), ésta diferencia quizá sea debido al posible sesgo que se obtuvo al tomar los datos en cada parcela, o bien a las diferencia de ambiente en las repeticiones.

Sin embargo observamos que los coeficientes de variación obtenidos en el experimento resultaron bajos; obteniendo un coeficiente de variación más alto para rendimiento (13.12); esto resulta lógico si comprendemos que la naturaleza en la herencia de este carácter es compleja, razón por la cual muestra una mayor variación en comparación con las otras características en estudio; sin embargo en términos generales podemos decir que la mayoría de los coeficientes de variación obtenidos confiere una buena confiabilidad a los resultados experimentales.

Para la fuente de variación tratamientos no se obtuvieron diferencias significativas para ninguno de los caracteres en estudio; por lo que se puede decir que no existe una amplia variabilidad entre el material en estudio; esto quizá pueda ser debido a 2 causas: 1) a que los materiales criollos incluidos en el dialélico hayan compartido la misma población de genes; es decir, que tengan cierto parentesco por el hecho de que en determinado momento se hayan cruzado entre ellos en campos de agricultores que utilizan para la siembra materiales que llevan de otras regiones agrícolas. 2) si tomamos en consideración que la evaluación se efectuó solamente en una localidad no se pudiera detectar diferencia entre ellos que pudieran señalar la interacción genotipo-medio ambiente; es decir el comportamiento relativo de estos cruzamientos en cada uno de los ambientes.

Análisis dialélico

Para analizar las varianzas correspondientes a la ACG y ACE de los caracteres en estudio se llevaron a cabo los análisis dialélicos cuyos resultados se presentan en el cuadro 4.2.

Cuadro 4.2. Cuadrados medios de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) y sus respectivos componentes de varianza para las 11 características estudiadas.

CARÁCTER	ACG	σ^2_G	ACE	σ^2_s	$\epsilon.\epsilon$
DF	4.598	0.441	7.247	1.868	5.379
AP	0.0183**	0.002	0.0063**	0.0057	0.007
AM	0.0116**	0.0009	0.0058**	0.0052	0.006
NHAM	0.4741**	0.0757	0.0195**	0.0137	0.058
LM	0.4206**	0.0144	0.3345**	0.3158	0.375
DM	0.0057**	0.0012	0.0129**	0.0122	0.015
NHM	0.5415**	0.0446	0.8093**	0.7732	0.722
GHM	2.0149**	0.0596	2.3725**	2.2846	1.759
DO	0.0176**	0.0012	0.0101**	0.0091	0.0203
NMT	2.1800**	0.4287	4.7520**	4.6682	3.35
REND	0.3873**	0.0107	0.3227**	0.3152	0.302

** Significativo al 1% de probabilidad; DF=Días a floración; AP=Altura de planta; AM=Altura de mazorca; NHAM=Numero de hojas arriba de la mazorca; LM =Longitud de mazorca; DM=Diámetro de mazorca; NHM=Numero de hileras por mazorca; GHM=Granos por hilera de mazorca; DO =Diámetro del olote; NMT = Numero de mazorca total y REND=Rendimiento.

En el cuadro 4.2 se observa que los valores de cuadrados medios de ACG y ACE, fueron altamente significativos para todas las variables, excepto para días a floración el cual no registro diferencias significativas para ninguno de los cuadrados medios de aptitud (ACG y ACE).

El análisis de estos resultados nos indica claramente que el componente de aptitud combinatoria específica (σ^2_s) es por términos generales más grande que el de aptitud combinatoria general (σ^2_G) para las características en estudio por lo que podemos referir que la mayor parte de la variación genética total se debe a efectos génicos no aditivos; esto es a la combinación específica de cada material. Es por esta razón que para las condiciones particulares de este experimento no se recomendaría efectuar selección intrapoblacional en ninguna de las variedades dado que la magnitud de sus varianzas de tipo aditivo son bajas comparada con la específica; por lo que sería mejor derivar líneas de los

materiales superiores que mostraron mejor ACE para formación de híbridos experimentales.

Lo expuesto anteriormente puede ser confirmado en el cuadro 4.3 donde se presentan los componentes de varianza genética aditiva (σ^2_A) y varianza de dominancia (σ^2_D), donde se observa que la varianza aditiva del carácter número de hojas arriba de la mazorca cuyo valor de 84.68 % es aproximadamente 5 veces mayor que la σ^2_D , todas las demás características presentan valores (%) de varianza aditiva sumamente bajas en comparación con el porcentaje de varianza de dominancia.

Si consideramos que los principales componentes de rendimiento como son: largo de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca, granos por hilera nos damos cuenta que presentan los valores más bajos de varianza aditiva; si tomamos en consideración que en la aplicación de los métodos de selección recurrente, el fitomejorador emplea este tipo de varianzas; no se justificaría la aplicación de ninguno de los métodos para la mejora por selección ya que no se obtendrían ganancias genéticas considerables.

Cuadro 4.3. Componentes de varianza genética aditiva (σ^2_A) y varianza de dominancia (σ^2_D) y % en relación a la varianza genética total.

CARACTERES	VARIANZAS		PORCENTAJE	
	σ^2_A	σ^2_D	% (σ^2_A)	% (σ^2_D)
DF	1.644	7.472	18.03	81.97
AP	0.008	0.0228	25.97	74.03
AM	0.00384	0.0208	15.58	84.42
NHAM	0.30304	0.0548	84.68	15.32
LM	0.0576	1.2632	4.36	95.64
DM	0.0048	0.0488	8.95	91.05
NHM	0.1784	3.0928	5.45	94.55
GHM	0.2384	9.1384	2.54	97.46
DO	0.0050	0.0364	12.10	87.90
NMT	1.7148	18.6728	8.41	91.59
REND	0.04308	1.2608	3.30	96.70

Estimación de los efectos de aptitud combinatoria general (\hat{g}_i) y aptitud combinatoria específica (\hat{S}_{ij}) y sus varianzas asociadas.

En el cuadro 4.4 se presentan los resultados de la aptitud combinatoria general (\hat{g}_i) para las características en estudio. Para propósitos de selección en los programas de mejoramiento genético se considera que los efectos de aptitud combinatoria estiman los efectos aditivos (Griffing 1956), razón por la cual aquellas variedades que muestren efectos mayores pueden ser utilizadas con cierta ventaja para mejorar cualquier característica. En el caso de la característica días a floración las variedades olote colorado, criollopepitilla, VS-370; criollo san Antonio y criollo # 2 son los que mostraron valor más alto de ACG; para altura de planta los valores altos se reparten para criollo # 2, criollopepitilla y criollo # 5.

En altura de mazorca destacan el criollo # 2, criollo # 5 y criollo pepitilla; para la característica número de hojas arriba de la mazorca sobresalen los materiales: olote colorado, criollo # 2 y criollo pepitilla.

En cuanto al carácter largo de mazorca los valores más altos fueron para olote colorado, criollo # 7 y criollo # 2; en diámetro de mazorca los valores más altos lo obtuvieron criollo # 7, criollo pepitilla y criollo # 5.

Para el carácter numero de hileras por mazorca destacan las variedades; criollo 5, criollo # 7, olote colorado, VS -201,criollo pepitilla y criollo # 2; en granos por hilera de mazorca los obtuvieron las variedades: criollo # 5, criollo # 2 y criollo # 7; en el carácter diámetro delolotelos valores más altos fueron para criollo olote colorado, criollo # 7 y VS-201; y en número de mazorcas totales fueron los materiales VS-201, criollo # 2, criollo pepitilla y olote colorado y finalmente para rendimiento mostraron los valores más altos : criollo # 2, criollo pepitilla, VS-201 y criollo # 7.

Cuadro 4.4. Comportamiento de las 8 variedades de maíz en base a los efectos de aptitud combinatoria general (\hat{g}_i) para 11 características y su media fenotípica.

CARAC	VARIEDADES							
	\hat{g}_1	\hat{g}_2	\hat{g}_3	\hat{g}_4	\hat{g}_5	\hat{g}_6	\hat{g}_7	\hat{g}_9
DF	1.0415 (71.000)	-1.4027 (60.667)	-1.125 (70.667)	0.3750 (71.000)	0.7082 (70.000)	-0.3470 (72.334)	0.3748 (70.333)	0.3752 (70.333)
AP	-0.0257 (2.486)	-0.0968 (2.464)	-0.0417 (2.471)	0.053 (2.425)	0.0008 (2.373)	0.0328 (2.541)	0.0742 (2.426)	0.0033 (2.473)
AM	-0.0198 (1.433)	-0.063 (1.364)	-0.0404 (1.370)	0.0202 (1.347)	0.0037 (1.277)	0.0439 (1.407)	0.0707 (1.331)	-0.0151 (1.428)
NHAM	0.0987 (6.033)	-0.0849 (5.833)	-0.0401 (6.167)	0.0929 (5.767)	-0.0346 (6.000)	-0.1346 (6.067)	0.0930 (5.933)	0.0097 (5.867)
LM	0.3718 (16.450)	0.2288 (16.333)	-0.3517 (16.200)	-0.1920 (15.783)	-0.0074 (16.000)	0.0984 (15.600)	0.1706 (16.000)	-0.3185 (16.100)
DM	-0.0366 (4.595)	0.0499 (4.740)	-0.0054 (4.780)	0.0411 (4.982)	-0.0128 (4.623)	0.0044 (4.712)	-0.0134 (4.665)	-0.0273 (4.590)
NHM	0.2807 (12.633)	0.8860 (14.067)	0.1722 (12.967)	0.1695 (14.233)	-0.6888 (12.800)	0.4553 (14.283)	0.0334 (13.633)	-0.7083 (12.867)
GHM	-0.8112 (34.516)	0.4888 (33.683)	-0.6917 (33.450)	0.0638 (32.817)	0.0250 (33.117)	0.6555 (32.800)	0.6390 (33.867)	-0.3693 (35.450)
DO	0.1024 (2.430)	0.0447 (2.692)	0.0130 (2.843)	-0.0262 (2.665)	-0.0687 (2.518)	0.0055 (2.788)	-0.0377 (2.702)	-0.0330 (2.503)
NMT	0.250 (41.333)	-0.0832 (42.333)	0.7499 (39.667)	0.4166 (41.667)	-0.0279 (43.333)	-0.5834 (39.667)	0.4721 (42.333)	-0.1944 (43.667)
REND	-0.2226 (6.455)	0.0724 (7.361)	0.1390 (7.135)	0.2794 (7.165)	-0.2403 (6.855)	-0.0819 (7.098)	0.3692 (6.906)	-0.3152 (7.131)

1=olote colorado; 2 = criollo # 7; 3 = VS-201; 4 = criollo pepitilla; 5 = VS-370; 6=criollo # 5; 7= criollo # 2 (purísima); 8 = criollo San Antonio; (.....) valores fenotípicos.

Si consideramos que los componentes de rendimiento son los caracteres que en determinado momento pueden incidir más directamente sobre la selección para mejorar un material mediante la utilización de índices de selección, quizás pudieran tener ganancias más significativas los siguientes materiales: criollo # 7; criollo # 5; criollo # 2 (Purísima), criollo pepitilla y olote colorado que son los que por términos generales muestran valores más altos de ACG para estas características. Sin embargo como se menciona anteriormente las posibles ganancias que se pudieran obtener al seleccionar dentro de variedades para mejorar algunas características, no tendría mayor relevancia dado que la máxima variación observada es producto de las varianzas asociadas a los efectos de aptitud combinatoria específica (\hat{S}_{ij}^2) como se muestra en el cuadro 4.5 en donde observamos que dicha magnitud rebasa con mucho a las correspondientes varianzas observadas de aptitud combinatoria general (\hat{g}_i^2).

Cuadro 4.5. Varianzas asociadas a los efectos de aptitud combinatoria general (\hat{g}_i^2) y aptitud combinatoria específica (\hat{S}_{ij}^2) para 11 características estudiadas.

CARAC	P1		P2		P3		P4	
	\hat{g}_i^2	\hat{S}_{ij}^2	\hat{g}_i^2	\hat{S}_{ij}^2	\hat{g}_i^2	\hat{S}_{ij}^2	\hat{g}_i^2	\hat{S}_{ij}^2
DF	0.30025	-0.576	1.18309	-2.86195	2.03961	-3.04050	-0.64385	-1.75423
AP	0.00056	0.00311	0.00927	0.00671	0.00164	0.00619	0.00271	0.00191
AM	0.00031	0.00353	0.00389	0.00508	0.00154	0.00737	0.00032	0.00114
NHAM	0.00889	0.00806	0.00636	0.02651	0.00076	0.02663	0.00778	0.00807
LM	0.1355	0.36472*	0.04961	0.27450*	0.12096	0.23217*	0.03413	0.03782
DM	0.0012	0.02688*	0.0024	0.05091*	0.00007	0.08891*	0.0016	0.03422***
NHM	0.07352	0.60697***	0.07653	1.51950**	0.02438	0.47171**	0.02346	0.64591**
GHM	0.64522	1.49074*	0.2261	1.7807*	0.46562	0.75485*	-0.00876	0.28902
DO	0.01032	0.00835	0.00185	0.01355	0.00002	0.00209	0.00054	0.01181
NMT	0.05032	2.14222*	-0.00531	2.78965*	0.55012	2.04870*	0.16132	2.38226*
REND	0.04845	0.25528*	0.00414	0.41854**	0.01822	0.32193**	0.07696	0.09317*

P_i= Progenitores, \hat{g}_i^2 = efectos de aptitud combinatoria general, \hat{S}_{ij}^2 = efectos de aptitud específica, DF=Días a floración; AP=Altura de planta; AM=Altura de mazorca; NHAM=Numero de hojas arriba de la mazorca; LM =Longitud de mazorca; DM=Diámetro de mazorca; NHM=Numero de hileras por mazorca; GHM=Granos por hilera de mazorca; DO =Diámetro del olote; NMT = Numero de mazorca total y REND=Rendimiento.

Continuación del Cuadro 4.5

CARAC	P5		P6		P7		P8	
	\hat{g}_i^2	\hat{S}_{ij}^2	\hat{g}_i^2	\hat{S}_{ij}^2	\hat{g}_i^2	\hat{S}_{ij}^2	\hat{g}_i^2	\hat{S}_{ij}^2
DF	-0.28292	11.7521	-0.664	-2.23633	-0.644	-1.87268	-0.6437	11.2458
AP	-0.0001	0.00373	0.00048	0.00095	0.00541	0.00804	-0.00009	0.0066
AM	-0.00007	0.00151	0.00184	0.00251	0.00491	0.00567	0.00014	0.00774
HHAM	0.00035	0.00763	0.01727	0.00288	0.0078	0.01369	-0.00075	0.02186
LM	-0.00268	0.11496*	0.00695	0.42666***	0.02637	0.62221**	0.09871	0.16295*
DM	0.00006	0.03007* *	0.00008	0.03590*	0.00008	0.03076*	0.00064	0.03377*
NHM	0.46918	0.30163*	0.20203	0.99791**	0.00966	0.59761*	0.49642	1.35136***
GHM	-0.0122	1.45181*	0.41685	3.91060**	0.39549	3.75857**	0.12355	1.79111**
DO	0.00457	0.00539	-0.00012	0.00721	0.00127	0.00242	-0.00094	0.00984
NMT	1.04435	3.13152*	0.32812	5.51586**	0.21065	6.99781***	0.02556	6.16249***
REND	0.05664	0.08539*	0.00561	0.28908**	0.13521	0.41595**	0.09819	0.23358**

En lo que respecta a los valores de aptitud combinatoria específica (\hat{S}_{ij}^2) los resultados se muestran en el cuadro 4.6 en donde se puede observar la importancia relativa de cada cruzamiento particular para cada uno de las características en estudio. Si consideramos exclusivamente para su análisis aquellas características que están asociadas directamente al rendimiento observamos que para el carácter largo de mazorca las combinaciones específicas más altos son: M1 X H7, M2 X H7, M6 X H8, M2 X H6, M3 X H5 Y M3 X H6 en donde intervienen con más frecuencia los progenitores 6 y 7 que muestran los valores más altos asociados a los efectos de aptitud combinatoria específica (cuadro 4.5), y que comprende a los materiales; criollo # 5 y criollo # 2 (purísima).

Para la variable diámetro de mazorca los mejores combinaciones fueron obtenidas con los siguientes progenitores: M3 X H4, M3 X H5, M2 X H6, M2 X H8, M2 X H4, M2 X H5 y M1 X H4; nuevamente observamos que el progenitor # 2 es quien en términos generales muestra mejor combinaciones específicas con los demás materiales y en donde su varianzobservadaa estos efectos es la mayor.

En el carácter número de hileras por mazorca los efectos de ACE mas altos correspondieron a las cruza: M2 X H8, M6 X H7, M2 X H6, M3 X H4, M5 X H8, M1 X H8, M1 X H4 y M1 X H3; cuyos valores más altos observados a los efectos de ACE (\hat{S}_{ij}^2) correspondieron a los materiales: criollo # 7, criollo San Antonio, criollo # 5, criollo pepitilla y olote colorado, respectivamente.

Para el caso de granos por hilera de mazorca, las mejores combinaciones específicas se obtuvieron con los siguientes cruzamientos M6 X H8, M2 X H7, M1 X H7, M3 X H8 y M5 X H6; correspondiendo al p6 (criollo # 5), p7 (criollo # 2) y p8 (criollo San Antonio), en donde los valores de aptitud combinatoria específica resultaron mayores.

Para el carácter número de mazorca total, las combinaciones específicas superiores fueron obtenidas por los cruzamientos: M1 X H6, M2 X H7, M6 X H7, M5 X H8, M3 X H8, M4 X H8 Y M5 X H7; en donde los más altos valores de ACE ($\hat{\sigma}_{ij}^2$) correspondieron respectivamente a los progenitores: p7 (criollo # 2), p8 (criollo San Antonio) y p6 (criollo # 5).

Por último para el carácter fenotípico de más valor que es el rendimiento se encontró que las mejores combinaciones específicas fueron producidas por los siguientes cruzamientos: M2 X H7, M3 X H8, M1 X H6, M4 X H8, M1 X M7, M3 X H5 y M2 X H6, presentando las más altas varianzas observadas a los efectos de aptitud combinatoria específica los progenitores: P2 (criollo # 7), P7 (criollo # 2), P3 (VS-201), P6 (criollo # 5) y P8 (criollo San Antonio).

En la mayoría de los programas de mejoramiento es de suma utilidad la estimación de los efectos de aptitud combinatoria general y específica ya que permite al mejorador una visión amplia de las causas que expliquen la variación encontrada y de esta forma hacer uso de una metodología más adecuada que pueda ayudar con el propósito de explotar más eficientemente los materiales incluidos en el estudio.

Los resultados del presente trabajo indican que la variación observada es causada por efectos de aptitud combinatoria específica por lo que se recomienda la derivación de líneas de estas poblaciones criollas con el propósito de explotar este tipo de varianza en la formación de híbridos específicos.

Cuadro 4.6. Comportamiento de 28 cruzas en base a sus efectos de aptitud combinatoria específica para 11 características.

		CARACTERÍSTICAS										
		DF	AP	AM	NHAM	LM	DM	NHM	GHM	DO	NMT	REND
M1	H2	0.587	-0.024	-0.014	0.104	0.228	-0.090	-0.245	0.248	0.029	-0.905	0.283
	H3	-0.801	-0.047	-0.033	-0.107	-0.775	0.1004	0.480	-0.821	-0.014	0.595	-0.460
	H4	2.810*	0.040*	-0.003	0.126	0.041	0.116*	0.705*	0.107	0.150	-0.072	0.189
	H5	-3.191	0.025	0.031	0.087	-0.086	0.008	-0.504	0.196	-0.012	0.040	-0.413
	H6	-0.801	0.048*	0.107	-0.080	-0.002	-0.004	-1.281	0.982	-0.129	3.373*	0.677*
	H7	-1.523	0.065*	0.015	0.026	1.231*	-0.019	0.330	1.532*	0.074	-0.294	0.398*
	H8	-1.190	-0.104	-0.101	-0.157	-0.325	-0.016	1.016*	-2.294	-0.098	-0.794	-0.675
	M2	H3	0.976*	-0.029	-0.047	-0.110	-0.382	-0.091	-1.193	0.396	-0.032	-1.405
H4		-0.079	0.063*	0.050	-0.110	-0.058	0.168*	-1.300	0.723	-0.163	0.595	-0.448
H5		-2.079	-0.061	-0.046	0.137	-0.522	0.161*	0.024	-2.471	-0.132	0.706	-0.327
H6		0.643*	-0.059	0.039	-0.063	0.585*	0.227*	1.280*	0.499	0.114	-1.738	0.298*
H7		1.587*	0.168*	0.149	0.176	0.763*	0.090*	-0.176	1.665*	0.020	3.206*	1.083
H8		-1.079	-0.056	-0.052	-0.274	-0.582	0.191*	2.111*	-1.110	0.165	-0.460	0.057
M3	H4	1.199*	-0.020	-0.021	0.099	-0.044	0.361*	1.158*	-1.046	0.087	0.762	0.094
	H5	0.532*	0.078*	0.053	-0.041	0.538*	0.281*	-0.051	0.777	-0.006	-1.794	0.379*
	H6	2.256*	-0.016	-0.026	-0.108	0.499*	-0.089	0.088	-0.771	0.062	-0.904	0.228
	H7	-0.468	-0.105	-0.099	-0.002	-0.206	0.112	-0.050	0.113	-0.039	0.373	-0.099
	H8	0.199	0.141*	0.173	0.048	0.399	-0.007	0.069	1.354*	-0.059	2.373*	0.805*

Continuación del Cuadro 4.6.

M4	H5	-1.857	-0.082	-0.051	-0.041	0.395	0.075	0.308	-0.513	0.041	-1.461	0.180
	H6	0.865*	-0.026	-0.041	0.059	-0.244	-0.087	-0.604	0.491	-0.114	0.762	-0.127
	H7	-1.191	-0.010	0.022	-0.169	-0.250	0.048	-0.026	0.040	0.050	-2.627	-0.329
	H8	-1.191	0.039*	0.046	0.115	0.189	-0.060	0.026	0.198	-0.050	2.040*	0.441*
M5	H6	-1.135	0.047*	0.034	0.021	-0.046	0.059	-0.545	1.296*	0.037	-1.794	0.217
	H7	-0.524	-0.059	-0.043	-0.141	-0.018	-0.043	0.116	0.679	-0.048	1.484*	0.140
	H8	8.810*	0.055*	0.022	-0.024	-0.229	0.067	1.153*	0.037	0.120	2.818*	-0.176
M6	H7	0.865*	0.013	0.005	-0.007	-1.274	-0.061	1.488*	-4.169	0.026	3.040*	-1.017
	H8	-2.135	0.004	-0.039	0.176	0.616	-0.047	0.074	1.674*	0.004	-2.294	-0.276
M7	H8	-2.857	-0.069	-0.048	0.115	-0.040	-0.129	-1.181	0.140	-0.083	-3.683	-0.177

M_i=Progenitor Macho, H_i= Progenitor Hembra, DF=Días a floración; AP=Altura de planta; AM=Altura de mazorca; NHAM=Numero de hojas arriba de la mazorca; LM=Longitud de mazorca; DM=Diámetro de mazorca; NHM=Numero de hileras por mazorca; GHM=Granos por hilera de mazorca; DO =Diámetro del olote; NMT = Numero de mazorca total y REND=Rendimiento.

Heredabilidad

Los resultados de la heredabilidad en sentido amplio y en sentido estrecho son presentados en el Cuadro 4.7; en donde podemos observar que para la mayoría de los caracteres estudiados la heredabilidad en sentido amplio es bastante alta; obteniéndose los valores más bajos para las características días a floración y diámetro de olote.

Cuadro 4.7. Valores de heredabilidad en sentido amplio (H^2) y sentido estrecho (h^2) para 11 características obtenidos a partir del análisis dialélico.

CARÁCTER	H^2 (%)	h^2 (%)
DF	62.89	11.34
AP	81.48	21.16
AM	80.42	12.53
NHAM	80.15	67.87
LM	77.88	3.40
DM	78.43	6.99
NHM	81.92	4.47
GHM	84.20	2.14
DO	67.10	8.10
NMT	84.79	7.22
REND	85.88	2.68

Los valores altos de heredabilidad que se observan en el cuadro 4.7, probablemente se deban a una sobrestimación de la heredabilidad debido a que los materiales fueron probados en un solo ambiente, por lo que esta se vería quizá reducida en forma significativa cuando los materiales sean probados en una diversidad de ambientes (Brauer ,1969).

En cuanto a los resultados de heredabilidad en sentido estrecho; se observa que los valores más altos se presentan en las características: número de hojas arriba de la mazorca, altura de planta, altura de mazorca y días a floración, lo que indica que éstas características fueron menos afectadas por el medio

ambiente comparativamente con el resto, resultados similares son reportados por (Oyervides, 1979).

Los caracteres largo de mazorca, granos por hilera de mazorca y rendimiento, presentan los más bajos valores de heredabilidad en sentido estrecho; esto es debido a que los caracteres controlados por un gran número de genes son más afectados por factores medio ambientales (Lush ,1949).

Si consideramos que la heredabilidad representa como medida de avance en los programas de selección, quizá la única característica que pudiera mejorarse con mayor eficiencia sería número de hojas arriba de la mazorca. Para las demás características una selección no sería efectiva.

Heterosis

Se efectuó una extracción de los efectos heteróticos para las 28 cruzas simples posibles entre los 8 progenitores, incluidos en este estudio. Los valores de heterosis presentados en el Cuadro 4.8, se obtuvieron en base al progenitor medio (h_1) y mejor progenitor (h_2).

Para el carácter días a floración se observa que el 75% de las cruzas superaron el valor del progenitor medio y solamente el 46% supero al mejor progenitor; lo que indica que la mayor parte de los cruzamientos (54%) fueron más precoces que el progenitor más tardío. El análisis del carácter altura de planta indica que hay un rango de valores heteróticos (h_1) que van de 94.41 a 108.02 que comprenden a los cruzamientos 2 x 3 y 2 x 7 respectivamente; y en la heterosis en función al mejor progenitor el rango fue de 93.39 a 107.1 para las cruzas 2 x 6 y 4 x 7. En el carácter altura de mazorca se encontró que los valores heteróticos (h_1h_2) más altos se presentaron en el 78.6% y 67% de los cruzamientos correspondiendo los valores más altos para el cruzamiento 2 x 7 en

ambos casos (117.74 y 116.28). Los valores heteróticos (h_1 y h_2) más altos para el carácter número de hojas arriba de la mazorca los presentaron los cruzamientos 1 x 4 (105.64 y 103.31), 4 x 8 (105.43 y 104.53) y 2 x 7 (104.58 y 102.81).

Para las características consideradas como componentes del rendimiento los valores heteróticos más altos en función al progenitor medio lo obtuvieron los cruzamientos 1 x 7 (109.40) y 2 x 7 (107.12); y en función al mejor progenitor los valores más altos se reportan para los mismos cruzamientos con valores de 107.90 y 106.02 respectivamente.

En la variable diámetro de mazorca los máximos valores fueron de 107.45 y 107.13 para los de h_1 y h_2 respectivamente que comprende al cruzamiento 2 x 6. Para el carácter número de hileras por mazorca se encontró que un 64% de las cruces presentan valores de heterosis superiores al progenitor medio correspondiendo los más altos a los cruzamientos 2 x 8, 1 x 8 y 1 x 3 con 115.10, 112.94 y 112.50 respectivamente; que son los que presentan también valores más altos en función al mejor progenitor con 110.19, 111.91 y 111.05.

En el carácter granos por hilera de mazorca los cruzamientos 5 x 6 y 2 x 7 mostraron las heterosis más altas en relación al progenitor medio con 110.39 y 110.14, observándose que los valores más altos en h_2 corresponden a los mismos cruzamientos con 109.86 y 109.84 respectivamente. Los valores superiores obtenidos para la variable diámetro del olate fueron para el cruzamiento 1 x 4 con 109.23 y 104.39 para h_1 y h_2 respectivamente.

En el análisis de la variable número de mazorcas totales se encontró que los valores de heterosis en relación al progenitor medio y progenitor superior lo obtuvieron los cruzamientos 1 x 6 y 6 x 7 con valor de 113.58, 111.29 y 113.01, 109.45 respectivamente. Para rendimiento el 64% de los cruzamientos mostraron valores superiores de heterosis en función al progenitor medio correspondiendo los valores más altos para las cruces 2 x 7, 1 x 7, 1 x 6 y 1 x 4, con porcentajes de

123.10, 116.78, 112.59 y 110.16 respectivamente; el mismo porcentaje de cruzamientos supero el valor del mejor progenitor, siendo los más altos los que muestran los cruzamientos 2 x 7 con 119.29 y 1 x 7 con 112.96.

Si tomamos en consideración que la magnitud de los valores heteróticos depende de la diversidad genética presente en los materiales, como lo reportan los estudios de Paterniani y Lonquist (1963); Lonquist y Gardner (1961), los cuales mencionan porcentajes de heterosis 197-176 y 188.9 y 164.4 respectivamente en función al mejor progenitor y progenitor superior; se puede inferir que en el caso de los materiales incluidos en el presente estudio, la variabilidad genética es muy reducida, razón por la cual los efectos heteróticos son bajos; una explicación posible es que los materiales colectados pertenecen a áreas geográficas muy cercanas y que por ende, en tiempos anteriores se hayan cruzado entre sí.

Cuadro 4.8. Porcentaje de valores heteróticos en función al porcentaje medio (h1) y al mejor progenitor (h2) en 11 características.

CRUZAS	DF		AP		AM		NHAM		LM		DM	
	h1	h2										
1 x 2	109.28	101.41	94.95	94.53	95.28	92.95	101.68	100.00	103.61	103.24	101.14	99.58
1 x 3	99.29	99.06	96.13	95.82	95.36	93.23	96.18	95.13	94.33	93.62	101.51	99.54
1 x 4	107.04	107.04	104.40	103.10	102.66	99.58	105.64	103.31	101.61	99.54	102.69	98.69
1 x 5	99.76	99.06	102.76	100.40	106.57	100.77	100.85	100.56	101.28	99.90	103.17	103.17
1 x 6	100.00	99.08	101.51	100.39	109.86	108.86	95.87	95.60	103.07	100.41	102.30	101.02
1 x 7	108.02	107.51	106.23	104.95	108.18	104.33	102.51	101.66	109.40	107.90	102.12	101.35
1 x 8	101.89	101.41	95.60	95.33	90.42	90.23	98.60	97.25	97.59	96.55	102.72	102.65
2 x 3	106.09	98.58	94.41	94.25	93.56	93.36	98.33	95.67	96.21	95.82	99.79	99.37
2 x 4	107.34	99.53	102.91	102.07	105.95	105.28	98.84	98.29	100.47	98.77	97.10	94.74
2 x 5	105.61	98.57	96.73	94.93	100.30	97.07	100.29	98.88	98.04	97.04	99.83	98.59
2 x 6	106.27	97.69	94.84	93.39	98.99	97.44	94.67	92.85	106.90	104.49	107.45	107.13
2 x 7	110.43	102.84	108.02	107.18	117.74	116.28	104.58	102.81	107.12	106.02	104.70	103.86
2 x 8	106.36	99.05	95.10	94.90	93.05	90.97	95.14	94.87	95.48	94.80	107.39	105.70
3 x 4	101.18	100.94	101.59	100.65	102.21	101.31	101.68	98.38	97.35	96.09	100.53	98.49
3 x 5	101.42	100.94	104.58	102.51	109.30	105.55	95.35	94.05	101.45	100.82	101.53	99.85
3 x 6	100.70	99.54	98.60	97.25	101.37	100.00	92.09	91.34	103.14	101.23	99.18	98.47
3 x 7	99.29	99.06	99.02	98.10	100.74	99.27	98.63	96.76	97.93	97.33	103.56	102.30
3 x 8	100.24	100.00	105.14	105.18	110.58	108.33	98.60	96.21	98.35	98.04	101.54	99.52
4 x 5	100.71	100.00	102.88	101.77	106.86	104.08	100.85	98.88	102.89	102.19	102.04	98.35
4 x 6	101.39	100.46	102.94	100.59	105.45	103.20	100.27	97.79	100.80	100.21	98.10	95.44
4 x 7	100.94	100.47	107.75	107.71	115.16	114.48	101.42	100.00	99.95	99.27	101.01	97.79
4 x 8	100.94	100.47	105.80	104.27	106.70	103.64	105.43	104.53	99.32	98.34	99.25	95.34
5 x 6	99.76	98.15	104.88	101.42	112.59	107.39	95.59	95.05	102.53	101.25	103.86	102.86
5 x 7	103.09	102.84	104.71	103.54	112.04	109.77	97.77	97.22	101.87	101.87	101.79	101.33
5 x 8	116.39	116.11	105.45	103.32	106.51	100.84	98.89	97.78	97.20	96.89	104.71	104.33
6 x 7	101.87	100.46	105.36	102.95	113.15	110.09	97.78	96.70	95.89	94.69	100.83	100.32
6 x 8	97.66	96.31	100.84	99.49	100.14	99.37	100.00	98.35	104.42	102.79	101.63	100.32
7 x 8	99.05	99.05	102.29	101.29	104.28	100.63	103.95	103.37	99.48	49.17	100.00	99.18

Continuación del Cuadro 4.8.

CRUZAS	NHM		GHM		DO		NMT		REND	
	h1	h2								
1 x 2	105.86	100.47	100.83	99.61	106.68	101.49	101.99	100.79	106.96	100.38
1 x 3	112.50	111.05	94.41	92.95	100.83	93.49	111.11	108.87	98.79	94.08
1 x 4	111.42	105.16	100.30	97.83	109.23	104.39	106.02	105.60	110.16	104.70
1 x 5	101.45	100.78	100.00	97.97	104.80	102.38	100.79	98.96	95.88	93.08
1 x 6	98.58	92.89	104.70	102.77	97.16	90.92	113.58	111.29	112.59	107.48
1 x 7	108.89	104.89	104.61	103.62	105.03	99.74	101.19	100.00	116.78	112.96
1 x 8	112.94	111.91	88.42	87.06	102.51	101.00	100.39	97.71	88.97	84.76
2 x 3	94.20	90.52	103.08	102.72	93.31	90.82	104.07	100.79	86.39	88.59
2 x 4	91.64	91.10	107.32	105.94	90.07	89.60	105.55	104.72	98.58	97.27
2 x 5	100.00	95.49	97.16	96.34	92.13	89.15	100.39	99.23	95.13	91.86
2 x 6	111.70	110.85	108.45	107.03	99.27	97.56	100.00	96.85	104.37	102.50
2 x 7	99.64	98.10	110.14	109.84	95.78	95.60	111.02	111.02	123.10	119.29
2 x 8	115.10	110.19	96.68	94.26	105.24	101.52	99.22	97.71	97.58	96.06
3 x 4	110.05	105.16	98.79	97.86	95.50	92.51	111.47	108.80	108.88	108.43
3 x 5	100.13	99.48	103.71	103.19	93.10	87.76	99.60	95.38	107.70	105.59
3 x 6	104.09	99.30	101.43	100.45	93.68	92.75	107.56	107.56	105.97	105.69
3 x 7	101.26	98.78	102.40	101.77	89.93	87.69	109.76	106.30	109.20	107.44
3 x 8	100.64	100.25	100.73	97.88	92.67	87.13	111.20	106.10	110.54	110.51
4 x 5	100.62	95.55	103.08	102.61	96.56	93.88	97.25	95.38	106.63	104.33
4 x 6	97.02	96.85	108.56	108.53	88.85	86.87	108.19	105.60	102.75	102.26
4 x 7	99.28	97.19	105.42	103.79	94.74	94.08	99.21	98.43	107.69	105.74
4 x 8	99.87	95.08	100.49	96.76	94.70	91.82	107.03	104.58	107.19	106.94
5 x 6	96.25	91.25	110.39	109.86	95.36	90.75	96.38	92.31	102.51	100.75
5 x 7	99.25	96.21	106.74	105.56	92.03	88.90	103.50	102.31	109.37	108.96
5 x 8	105.72	105.44	99.47	96.19	102.59	102.26	103.45	103.05	93.31	91.50
6 x 7	112.00	109.45	94.60	93.11	92.90	91.46	113.01	109.45	93.22	91.95
6 x 8	100.43	95.45	106.57	102.59	95.76	90.85	96.80	92.36	92.54	92.31
7 x 8	89.06	86.55	100.46	98.21	92.35	88.93	93.02	91.60	101.65	100.04

Existen evidencias de que cruzamientos intervarietales entre materiales de áreas ecológicas distintas producen efectos heteróticos sumamente espectaculares como las obtenidas por Gama *et al.* (1982) (20.7 y 117) con respecto al progenitor medio y mejor progenitor y Castro (1964) que reporta porcentajes máximos de 401.8 y 265.3 respectivamente.

Si tomamos en consideración que la heterosis que se presenta en líneas endocriadas, es superior a la que puedan exhibir las cruzas intervarietales, resultaría más adecuado la derivación de líneas de aquellos materiales que presenten los más altos valores para incluirlos en programas de hibridación como lo son los progenitores 1 (olote colorado); 2 (criollo # 7) y 7 (criollo # 2).

CONCLUSIONES

A partir de los objetivos planteados en el presente trabajo y en relación a los resultados obtenidos, se puede concluir lo siguiente.

1. No se obtuvieron diferencias significativas para la fuente de variación tratamientos en ninguna de las características incluidas en el presente trabajo.
2. La magnitud de la diversidad genética de los materiales en el presente estudio es muy reducido; debido quizá a la estrecha relación que tienen, por haber sido colectados en áreas geográficas muy cercanas.
3. El porcentaje de varianza genética de tipo aditivo para la mayoría de las características es sumamente baja en comparación con la correspondiente varianza de tipo dominante; por lo que no se justificaría la aplicación del método de selección recurrente para la mejora de cualquiera de ellos en ninguno de los progenitores.
4. Los valores de heredabilidad (h^2) resultaron sumamente bajos a causa de la estrecha variabilidad genética.
5. Los progenitores con las más altas varianzas sumados a los efectos de aptitud combinatoria específica (\hat{S}_{ij}^2) para la variable rendimiento, correspondieron a los materiales: criollo # 7, criollo # 2 (purísima); VS-201 y criollo San Antonio.
6. Solamente el 64 % de los cruzamientos mostro efectos heteroticos (h_1 y h_2), cuyos valores fueron bajos debido a la reducida variabilidad genética del grupo utilizado como progenitores; sumando los valores más altos

para el caso de rendimiento, en relación al mejor progenitor, el de los cruzamientos 2 x 7 y 1 x 7 con 119.29 % y 112.96 % respectivamente, correspondiendo a los progenitores: criollo # 7, criollo # 2 (purísima) y olote colorado.

7. En caso de continuar con programas de mejoramiento que involucre estos materiales; se recomienda la derivación de líneas de aquellos progenitores que muestren los valores heteróticos más altos, para incluirlos en programas de hibridación.

LITERATURA CITADA

- Allard R. W. 1980. Principios de la mejora genética de las plantas. 4ª ed. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, España. 498 p.
- Antuna G., Oralia.2001. Calidad Fisiológica de Semillas y Comportamiento Agronómico de Seis Líneas de Maíz y su Combinación Híbrida. Tesis de Maestría. UAAAN.Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Brauer, H.O. 1969. Fitogenética aplicada. Editorial Limusa, México.
- Cadenas T., J. L. 2004.Estimación de Parámetros Genéticos en Dos Grupos Germoplásmicos de Maíz, Bajo el Método IV de Griffing. Tesis de Licenciatura.UAAAN.Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
- Castañón G, Jeffers D, Hidalgo H. 2000. Aptitud Combinatoria de Líneas de Maíz Tropical con Diferente Capacidad para Tolerar elAchaparramiento. Agronomía Mesoamericana 11(1): 77-81.
- Celis A., H.G. 1981. Estimación de parámetros genéticos e índices de selección en la variedad de maíz Zacatecas 58. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- De León C., H. 1981. Rendimiento y Heterosis de Híbridos de Maíz con Materiales Sobresalientes del INIA Y la UAAAN. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Falconer D S. 1980. Introducción a la Genética Cuantitativa. F. Márquez S. (trad).Ed. CECSA. México.430 p.
- Falconer D S.1981. Introducción a la Genética Cuantitativa. F. Márquez S. (trad). Nueva edición. CECSA. México. 383 p.
- Falconer D S.1984. Introducción a la Genética Cuantitativa. F. Márquez S. (trad) Editorial CECSA. 14º imp. México. 430 p.

Gama, EEG, Viana, RT; Naspolini Filho, V.; Magnavaca, R. Heterosis for four characters in nineteen populations of maize. *Egyptian Journal Genetics Cytology*, v.13, p.69-80, 1982.

Gardner, E.J. 1974. *Principios de Genética*. Segunda Edición. Ed. Limusa, México, 551 p.

Griffing, B. J. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. Biol. Sci.* 9: 463-493.

Hallauer A R, J B Miranda F.O .1981. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA. 468 p.

http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_guanajuato

Lonnquist, J.H. & Gardner, C.O. 1961. Heterosis in intervarietal crosses in maize and its implications in breeding procedures. *Crop Sci.*, 1: 179-183.

Lush J.L. 1949. Heritability of Quantitative Characters in Farm Animals. *Hereditas* (suppl.). 35, 256-261.

Márquez S., F. 1985. *Genotecnia Vegetal. Métodos, Teoría y Resultados*. Tomo I. AGT editor, S.A. México, D.F. 357 p.

Márquez S., F. 1991. *Genotecnia Vegetal, Métodos, Teoría y Resultados*. Tomo III. A.G.T. Editor, S.A., México, D.F. p. 437.

Martínez, Gy De León, C.H. 1996. Efectos Genéticos en Híbridos de Maíz Tropical (*Zea mays* L). III. Acame, Mala Cobertura y Pudrición de Mazorca. *Agronomía Mesoamericana* 7(1): 47-52.

Mastache L A A, A Martínez G (2003) Un algoritmo para el análisis, estimación y predicción de experimentos dialélicos balanceados. *Revista. Fitotecnia Mexicana*. 26:191-200.

Mendoza, M., A. Oyervides y A. López. 2000. Nuevos Cultivares de Maíz con Potencial Agronómico para el Trópico Húmedo. *Agronomía Mesoamericana*. Vol. 11(1): 83-88.

- Molina G., J. D. 1992. Introducción a la Genética de poblaciones y Cuantitativa (algunas implicaciones en genotecnia). AGT Editor. México. D.F. 349 p.
- Morales, M.N. 1999. Estudio Comparativo de 8 Características de 96 Híbridos de Sorgo para Grano (*Sorghum Bicolor* L. Moench) Evaluados en la Región Norte de Tamaulipas. Tesis Licenciatura. UAAAN. Buenavista. Saltillo, Coahuila. México.
- Oyervides G .M (1979) Estimación de parámetros genéticos, heterosis e índices de selección en variedades tropicales de maíz. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 118 p.
- Oyervides, G.A.; J.M.Mariaca, H, De León, M. Reyes. 1993 Estimación de parámetros genéticos en una población de maíz tropical. *Agronomía Mesoamericana*. 4:30-35p.
- Paterniani, E.; Lonquist, JH La heterosis en los cruzamientos interraciales de maíz (*Zea mays* L.). *Crop Science*, v.3, p.504-507 de 1963.
- Robles S., R. 1986. Genética Elemental y Fitomejoramiento Práctico. Ed. Limusa, S.A de C.V., México, D.F., 477p.
- Sprague, G.F. and L.A., Tatum. 1942. General vs. Specific combining ability in single crosses of corn. *Journal American Society Agronomy*. 34(10):923-932.