

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIVISION DE AGRONOMÍA



**COMPARACIÓN DE DOS DISEÑOS GENÉTICOS EN LA ESTIMACIÓN DE
LOS COMPONENTES DE VARIANZA EN UNA POBLACIÓN DE MAÍZ
ENANO.**

POR

IGNACIO MORALES POLICARPO

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

MARZO DEL 2001

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

División de Agronomía

Departamento de Fitomejoramiento

**Comparación de dos diseños genéticos en la estimación de los
componentes de varianza en una población de maíz enano**

Por:

Ignacio Morales Policarpo

T E S I S

Que somete a consideración de H. Jurado Examinador, como requisito parcial
para obtener el título de Ingeniero Agrónomo en Producción

Aprobada por:

M. C. Humberto de León Castillo
Presidente del jurado

Dr. Mario E. Vázquez Badillo
Sinodal

Ing. Modesto Colín Rico
Sinodal

M. C. Reynaldo Alonso Velasco
Coordinador de la División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Marzo del 2001

DEDICATORIAS

A mis padres: Eulalia Policarpo Mendoza
Santiago Morales Rivera

Con profundo cariño por su sacrificio y confianza que me han brindado para terminar mi carrera profesional y a quienes con el presente trabajo brindo un pequeño tributo de admiración, amor y respeto.

A mis hermanos: Juan
Salvador (†)
Antonio
Carmen
Nazario
Epifanio

Con cariño y gratitud por la constante motivación y apoyo para seguir adelante.

A mis sobrinos: Dalia Leydi, Rocío Arelith, Eduardo A., María de Jesús.

A las Familias Morales y Policarpo: por que siempre me motivaron a seguir adelante.

A mis amigos(as): Diana, Ana María, Sta. Isabel, Anabel, Eduardo, Juan, Ing. Noé Musito, Eloy, Octavio, Modesto, Angel S., Beto, Víctor, Pepe, Chuy, Julio, Cristian.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS: por la oportunidad de vivir, por estar conmigo y ser partícipe de mis alegrías, tristezas y por bendecir mi camino.

Al M.C. Humberto de León Castillo, por darme la oportunidad de participar en su trabajo de investigación, además de sus consejos y su valiosa enseñanza durante mi formación profesional.

Al Ing. Modesto Colín Rico, por sus consejos y su colaboración en la revisión de este trabajo.

Al Dr. Mario E. Vázquez Badillo, por sus consejos y su participación en la revisión de este trabajo.

Al Ing. Daniel Samano Garduño, por la buena disponibilidad y colaboración en la realización del presente trabajo

Al M.C. Eduardo Musito Ramírez, por su amistad y colaboración en este trabajo.

A la generación XC de INGENIERO AGRÓNOMOS EN PRODUCCIÓN por la gran amistad y convivencia que tuve con ellos.

A mi **ALMA MATER**, por abrigarme en su seno.

A todas aquellas personas que de una u otra manera aportaron algo en la realización de este trabajo.

INDICE DE CONTENIDO

| | Página |
|--|---------------|
| Dedicatoria..... | iii |
| Agradecimientos..... | iv |
| Indice de contenido..... | v |
| Indice de cuadros..... | vii |
| Resumen..... | viii |
| Introducción..... | 1 |
| Objetivos..... | 3 |
| Hipótesis..... | 3 |
| Revisión de Literatura..... | 4 |
| Caracterización de poblaciones..... | 4 |
| Patrones heteróticos..... | 5 |
| Diseños genéticos..... | 6 |
| Análisis dialélico..... | 7 |
| Diseños de Carolina del Norte..... | 10 |
| Aptitud combinatoria General..... | 13 |
| Aptitud combinatoria especifica..... | 15 |
| Materiales y Métodos..... | 17 |
| Material genético..... | 17 |
| Descripción del área de estudio..... | 18 |
| Procedimiento experimental de campo..... | 19 |
| Labores culturales..... | 19 |
| Fertilización..... | 20 |
| Riegos..... | 20 |
| Variables a evaluar..... | 20 |
| Análisis estadísticos..... | 23 |
| Análisis dialélico..... | 23 |
| Análisis de Diseño II de Carolina del Norte..... | 28 |

| | |
|---|-----------|
| Estimación de Aptitud Combinatoria..... | 30 |
| Resultados y Discusión..... | 32 |
| Análisis de varianza para el diseño dialélico..... | 32 |
| | |
| INDICE DEL CONTENIDO(Continuación) | |
| Aptitud combinatoria para rendimiento..... | 34 |
| Efecto de ACG..... | 34 |
| Efecto de ACE..... | 35 |
| Aptitud combinatoria para días a floración femenina..... | 37 |
| Efecto de ACG..... | 37 |
| Efecto de ACE..... | 38 |
| Aptitud combinatoria para días a floración masculina..... | 39 |
| Efecto de ACG..... | 39 |
| Efecto de ACE..... | 40 |
| Aptitud combinatoria para altura de planta..... | 41 |
| Efecto de ACG..... | 41 |
| Efecto de ACE..... | 42 |
| Aptitud combinatoria para altura de mazorca..... | 43 |
| Efecto de ACG..... | 43 |
| Efecto de ACE..... | 44 |
| Análisis de varianza para el Diseño II de Carolina del Norte..... | 45 |
| Conclusiones..... | 50 |
| Literatura citada..... | 51 |

INDICE DE CUADROS

| Cuadro | Página |
|---|---------------|
| 3.1. Genealogía del material Genético..... | 18 |
| 3.2 Análisis de varianza dialélico..... | 25 |
| 3.3 Análisis de varianza del diseño II de Carolina del Norte..... | 29 |
| 4.1 Cuadrados medios del análisis dialélico para la población enana..... | 32 |
| 4.2 Efecto de ACG para rendimiento de grano de ton ha ⁻¹ . de trece líneas enanas de maíz..... | 34 |
| 4.3 Efectos de ACE para rendimiento de grano en ton ha ⁻¹ | 36 |
| 4.4 Efecto de la ACG para días a flor femenina en trece líneas enanas de maíz..... | 37 |
| 4.5 Efecto de ACE para Días a Floración Femenina..... | 38 |
| 4.6 Efecto de la ACG para días a flor masculina en trece líneas enanas de maíz..... | 39 |
| 4.7 Efecto de ACE para Días a Floración Masculina..... | 40 |
| 4.8 Efecto de la ACG para altura de planta en trece líneas enanas de maíz..... | 41 |
| 4.9 Efecto de ACE para Altura de Planta..... | 42 |
| 4.10 Efecto de la ACG para altura de mazorca en trece líneas enanas de maíz..... | 43 |
| 4.11 Efecto de ACE para Altura de Mazorca..... | 44 |
| 4.12 Cuadrados medios del análisis de varianza del Diseño II de Carolina del Norte..... | 45 |

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la localidad de Celaya, Guanajuato (1999), con la finalidad de determinar los componentes de varianza genética de una población de maíz enano, mediante dos sistemas de apareamiento y determinar bajo que esquema de mejoramiento poblacional se tendrán las máximas ganancias genéticas.

El material genético formador de la población constó de 78 cruzas para el dialélico y 45 cruzas para el diseño II, formadas a partir de 13 líneas enanas con avanzado grado de endogamia, dichas líneas se formaron a partir de líneas elite provenientes del Instituto Mexicano del Maíz.

En los resultados del dialélico tenemos diferencias altamente significativas en cruzas, aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) para las cinco variables evaluadas. En lo que respecta a heredabilidad tenemos que fue alta para días a floración masculina y femenina, media para altura de planta y baja para altura de mazorca y rendimiento.

En los resultados del Diseño II, se tienen diferencias altamente significativas en machos y hembras para cuatro variables (REN, ALPA, DFM y

DFF), excepto para altura de mazorca que fue significativa; se mostraron diferencias significativas para machos x hembras en rendimiento y no significativo para las demás variables. Con relación a la heredabilidad se mostró alta para días a floración masculina y femenina, intermedia para altura de planta y baja para altura de mazorca y rendimiento.

En lo que respecta a ACG, sobresalen por su capacidad de rendimiento las líneas 6, 12 y 5.

En cuanto a ACE, la mejor crusa tomando en cuenta los cinco caracteres evaluados fue 7 x 10, ya que da un material con buen rendimiento, precoz y de poca altura. Tomando en cuenta sólo rendimiento tenemos que las mejores cruas fueron: 6 x 13, 6 x 10, 3 x 13 y 4 x 5.

Respecto a la estimación de varianza aditiva y de dominancia, se observa que la tendencia de la varianza de dominancia fue importante para rendimiento, altura de planta y altura de mazorca; y la varianza aditiva fue importante para días a floración masculina y femenina, esto se observó en los dos diseños genéticos (Dialélico y Diseño II).

Por lo anterior se considera como una adecuada estrategia de mejoramiento para la población un programa de selección recíproca recurrente donde se puedan explotar tanto los efectos aditivos como los no aditivos.

INTRODUCCIÓN

Debido a las demandas de una población creciente, es necesario desarrollar materiales mejorados de maíz con rendimientos superiores a los crecimientos de las poblaciones actuales; para lo cual también es necesario utilizar metodologías efectivas en el mejoramiento del maíz.

En todo programa de mejoramiento genético, la elección de germoplasma es una de las decisiones más importantes que el mejorador debe tomar en cuenta, ya que puede ser determinante en el éxito del programa.

Los investigadores del Instituto Mexicano del Maíz de la UAAAN, trabajan en el mejoramiento del maíz para encontrar híbridos con buenas características agronómicas e incrementar la producción por unidad de superficie. Actualmente se trabaja en la caracterización de una población de maíz enano, ya que estas plantas tienen la particularidad de soportar altas densidades de siembra aumentando la producción, además, pueden aprovechar dosis altas de fertilización, son muy estables y de mayor respuesta al manejo. Aunado a esto, tienen la ventaja de presentar hojas erectas y espigas compactas, lo que hace que se incremente el espacio fotosintético de la planta, que se traduce en un aumento de la producción de grano. Características que pueden hacer de las plantas enanas más atractivas que los materiales normales y altos. Además se

cuenta con información de que individuos de esta población que al cruzarse con materiales normales producen descendientes con gran heterosis (De León 1999).

Este trabajo tiene la finalidad de determinar los componentes de varianza genética en una población de maíz enano, para así, realizar una caracterización de esta y determinar bajo que esquema de mejoramiento poblacional se tendrán las máximas ganancias genéticas. Para este estudio se van a utilizar dos diseños genéticos (el modelo cuatro de Griffing, 1956 y el diseño II de Carolina del Norte propuesto por Comstock y Robinson, en 1952).

El éxito de un programa de mejoramiento es el resultado de una óptima combinación de genes favorables. Los cruzamientos dialélicos son utilizados para estimar los efectos genéticos de las poblaciones en mejoramiento y la información analizada críticamente es valiosa para definir patrones heteróticos, los cuales constituyen una fuente de germoplasma para la generación de líneas élite de gran utilidad en un programa de mejoramiento dinámico.

Objetivos:

- Estimar los componentes de la varianza genética para hacer una caracterización de la población enana.
- Estimar los efectos de Aptitud Combinatoria General y Especifica de líneas y cruzas respectivamente.
- De la población enana, seleccionar híbridos sobresalientes y con buen potencial de rendimiento.

Hipótesis:

- Una vez caracterizada la población se podrá optar por escoger una estrategia de mejoramiento interpoblacional que explote eficientemente los diferentes tipos de varianzas detectados.
- Entre las líneas evaluadas, al menos una tiene efectos de ACG estadísticamente diferentes a cero y superiores al resto.
- En comparación con el comportamiento promedio de la población, para los caracteres evaluados será posible detectar combinaciones híbridas superiores.

REVISION DE LITERATURA

Caracterización de Poblaciones

En todo programa de mejoramiento genético, la elección de germoplasma es una de las decisiones más importantes que el mejorador debe tomar, ya que puede ser determinante en el éxito del programa. Hallauer (1993) indica que el mejoramiento del maíz incluye dos componentes de igual importancia, 1) elección de germoplasma, y 2) desarrollo de líneas para su uso en híbridos.

Córdova *et al.* (1995) señalan que la elección apropiada del germoplasma constituye la mitad del éxito de un programa de hibridación, asimismo la selección de una fuente de germoplasma apropiada implica tener el conocimiento del patrón heterótico a que pertenece. Los requisitos más importantes para una buena población como fuente para extraer líneas son un alto comportamiento promedio y varianza genética adecuada, de tal manera que las líneas que se recobran sean superiores a las poblaciones existentes (Lamkey, 1993).

Cordova y Michelson (1995) señalan que la elección apropiada del germoplasma constituye la mitad del éxito de un programa de hibridación, asimismo mencionan que la elección de una fuente de germoplasma apropiada implica tener el conocimiento del patrón heterótico a que pertenece.

Lamkey *et al.* (1993) señalan los requisitos más importantes para una buena población como fuente para extraer líneas, que son: un alto comportamiento promedio, y varianza genética adecuada de tal manera que las líneas que se recobren sean superiores a la población existente.

Sin embargo, además de la utilización de los patrones heteróticos ya existentes, es necesario generar patrones heteróticos que sean orientados a formar híbridos de maíz más eficientes.

Patrones Heteróticos

Generalmente, al iniciar un programa de hibridación de maíz para cierta región no se cuenta con patrones heteróticos, o la heterosis de los ya existentes para esa región es muy baja. Sin embargo, mediante el uso de materiales con diversidad, se pueden desarrollar híbridos con buena heterosis, entre líneas del mismo material (Vasal *et al.* 1993).

A través del tiempo se han identificado y definido claramente patrones heteróticos, entre los que se encuentran aquellos que poseen características contrastantes, siendo los más comunes; maíces de grano dentado vs cristalino, maíces tropicales vs subtropicales, materiales de madurez precoz vs madurez intermedia y tardía, maíces del subtrópico vs de clima templado, OTE (Estación

Tulio Ospina) vs Tuxpeño, Red Yellow Dent vs Lancaster Sure Crop en EUA, cónica vs cilíndrico (Valles Altos), etc.

Vasal *et al.* (1992), citan que mediante el uso de progenitores mejorados y no mejorados se puede formar nuevos patrones heteróticos, éstos proveen una fuente de germoplasma para el desarrollo de híbridos. El desarrollo de los materiales de patrones heteróticos mejorados mostrarán niveles mas altos de tolerancia a la depresión endogámica y esto traerá como resultado una mayor frecuencia en líneas superiores. Sin embargo, además de la utilización de los patrones heteróticos ya existentes, es necesario generar patrones heteróticos que sean orientados a formar híbridos de maíz más eficientes.

Diseños Genéticos

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

Para Cockerham (1963), los diseños genéticos pueden agruparse en diseño de uno, dos o más factores, dependiendo del número de ancestros por progenie sobre los que se tuvo control. De esta manera, una familia de medios hermanos o una progenie de policruzas, es un diseño de un solo factor ya que hubo control sobre un progenitor.

En la estimación de parámetros genéticos se hace uso de los diseños de apareamiento, los cuales operan en función de las covarianzas genéticas entre parientes, como los diseños dialélicos propuestos por Griffing (1956a), o bien como los propuestos por Comstock y Robinson (1948, 1952), mejor conocidos como los diseños I, II y III de Carolina del Norte. Estos diseños se pueden aplicar a caracteres de herencia diploide, dos alelos por locus y bajo los supuestos de equilibrio de ligamentos y ausencia de epistasis.

Análisis dialélico

Los diseños de apareamiento dialélico pueden ser muy útiles si se analizan e interpretan correctamente. Los esquemas de cruzamientos dialélicos y análisis se han desarrollado para progenitores que pueden ser líneas o variedades de amplia base genética. Griffing (1956a) publicó cuatro métodos (I, II, III, y IV). De estos, probablemente el más usado en maíz sea el de las combinaciones de cruzas sin progenitores (método IV), esto es debido a que los progenitores son usualmente líneas endocriadas, y el vigor de los progenitores ($F=1$) y las cruzas entre progenitores ($F=0$) frecuentemente causan complicaciones en el diseño de campo que se usa para evaluar las cruzas y progenitores (Hallauer y Miranda, 1988; y Mayo, 1987).

Griffing (1956a) describe las cruzas dialélicas, como el procedimiento en el cual se elige un conjunto de n líneas progenitoras y se realizan las cruzas entre ellas. Así tenemos que existe un máximo de n^2 de cruzas posibles, las cuales pueden dividirse en forma conveniente en tres grupos:

1. n autofecundaciones.

2. grupo de $n(n-1)/2$ de cruzas F1.
3. grupo de $n(n-1)/2$ de cruzas recíprocas de la F1.

Griffing (1956b) distingue cuatro diferentes métodos para realizar las cruzas dialélicas. Los métodos varían de acuerdo a si se ensayan o no las autofecundaciones o las cruzas recíprocas de las F1:

Método I : Comprende el ensayo de las autofecundaciones (padres), las cruzas F1 y las recíprocas de las F1.

Método II: Aquí se ensayan las autofecundaciones (padres) y las cruzas F1, pero no se incluyen las cruzas recíprocas, se ensayan en total $n(n-1)/2$ combinaciones.

Método III: Se ensayan las F1 y sus recíprocas, pero no se incluyen las autofecundaciones (padres), se ensayan $n(n-1)$ combinaciones.

Método IV: Se ensaya un grupo de cruzas F1, sin incluir las recíprocas ni las autofecundaciones (padres). Aquí solo se ensayan $n(n-1)/2$. Este método es el más usado, porque se estudian las F1 y a través de ellas se estiman las aptitudes combinatorias de ACG y ACE de los padres.

Se puede notar que los diseños uno y tres permiten la estimación de efectos maternos y recíprocos, además de los componentes de varianza, para aptitud combinatoria general y específica, particulares a los diseños dos y cuatro (Franco, 1979).

Kempthorne y Cournow (1961) refieren que las cruas dialélicas son usadas para estimar los componentes genéticos de la variación entre los rendimientos de las cruas, además, discuten la eficiencia de las cruas dialélicas para la predicción de las capacidades del rendimiento de varias cruas y la estimación de la aptitud combinatoria general de cada una de las líneas, encontrando que el método es más eficiente que otros.

Vasal, (1987), mencionan que mediante la utilización de dialélicos lograron generar información sobre la aptitud combinatoria de germoplasma tropical de maíz del CIMMYT, la agrupación del germoplasma e informaciones de patrones heteróticos fueron referentes a caracteres de rendimiento, tipo de endospermo, color, precocidad y calidad proteínica.

Alfaro (1991), evaluó 61 cruas simples obtenidas de 12 líneas endogámicas de maíz, contrastantes en caracteres morfológicos y fisiotécnicos, mediante un estudio genético bajo el método IV de Griffing, encontrando que la σ^2A fue mayor a la σ^2D en todos los caracteres evaluados, excepto en número de mazorcas secundarias, en donde la σ^2D fue mayor a la σ^2A . Este autor menciona que sus resultados coincidieron con aquellos autores que obtuvieron una varianza aditiva de mayor magnitud para rendimiento de grano de maíz y algunos de sus componentes, como Oyervides 1979, entre otros.

Diseños de Carolina del Norte

Esta clase de diseños fueron elaborados por Comstock y Robinson (1948) en Carolina del Norte. Según la técnica de apareamiento entre progenitores se reconocen tres métodos cuyas características son las siguientes:

Diseño I. Es también denominado diseño anidado o jerárquico. Bajo este esquema, cada macho es apareado con un grupo de hembras, con restricción que cada hembra sólo participa en una sola cruce. El grupo de progenies de medios hermanos descendientes del mismo macho, se denomina grupo macho (Márquez, 1988).

Diseño II. Mencionado, como diseño factorial o cruzado. Esta técnica de apareamiento consiste en cruzar un grupo de progenitores machos con un conjunto de hembras en todas las combinaciones posibles. La única restricción es que unos progenitores actúan como machos y otros sólo como hembras. Habrá de notarse la diferencia con los diseños dialélicos, donde los mismos progenitores pueden usarse como hembras y machos a la vez. Este diseño tiene la ventaja de manejar un número grande de progenitores con respecto a los dialélicos (Hallauer y Miranda, 1981).

Desde el punto de vista genético, la información obtenida es similar a la proporcionada por el diseño I. Con este diseño, se pueden hacer dos estimaciones independientes de la varianza aditiva más la estimación directa de la varianza de dominancia.

A nivel de apareamiento entre individuos, el Diseño II sólo podría usarse en plantas multiflorales en las que sea posible hacer cruzamientos separados. En el maíz se pueden usar como progenitores líneas endogámicas, y los cruzamientos necesarios de cada progenitor se hacen usando los individuos de cada línea (cada individuo juega el papel de una flor), pero si se hace esta hay que considerar el coeficiente de endogamia en las líneas progenitoras para la estimación de las varianzas genéticas (Márquez, 1985).

Diseño III. Este fue desarrollado con la finalidad de estimar el grado de dominancia de los genes que controlan los caracteres en estudio. Este apareamiento consiste en retrocruzar plantas de la F_2 , que son tomadas de la población, las cuales se usarán como machos para polinizar los dos progenitores endogámicos, de las que descende la F_2 . Habrá dos pares de progenies retrocruzadas por cada macho F_2 utilizado. Este diseño tiene la finalidad de estimar la varianza aditiva y la de dominancia (Hallauer y Miranda, 1981; Márquez, 1988).

Stuber *et al.* (1966), estudiaron la variabilidad en la cruce de dos variedades de maíz, mediante los diseños I y II de Carolina del Norte, en donde concluyeron que la varianza genética aditiva y la de dominancia fueron similares para rendimiento, aunque para algunas otras características se manifestó en mayor grado la varianza aditiva. Resultados similares obtuvieron Silva y Hallauer (1975) bajo los mismo diseños en una variedad de maíz y además mencionan que la varianza epistática no fue componente importante de la varianza genética.

Subandi y Compton (1974) estudiaron una población exótica de maíz a dos densidades de siembra y en dos años utilizando el diseño II. Concluyeron que la varianza aditiva fue mayor que la de dominancia en ambas densidades para todas las características.

Aptitud Combinatoria General

La capacidad que tiene una línea para transmitir productividad conveniente a su progenie híbrida se conoce con el nombre de aptitud combinatoria, la cual puede ser general si mantiene su comportamiento medio en una serie de combinaciones híbridas; o específicas cuando se refiere al comportamiento de una combinación de dos líneas específicas en una determinada craza, la cual se juzga por la relación que existe entre el comportamiento de las líneas en una determinada craza y el comportamiento medio de las líneas en una serie de cruza (Poehlman, 1974).

La aptitud combinatoria es la capacidad de una línea para transmitir su productividad a su progenie (Poehlman, 1983). La aptitud combinatoria general es el desempeño promedio de una línea en combinaciones híbridas (Jugenheimer, 1981).

La aptitud combinatoria general (ACG) se estima mediante el comportamiento promedio de una línea en combinaciones con otras líneas y la aptitud combinatoria específica (ACE) permite identificar aquellas líneas que en cruza específicas manifiestan el más alto rendimiento y difiere de lo que podría esperarse con el promedio de cada línea (Sprague y Tatum, 1942).

La Aptitud Combinatoria General se debe a efectos genéticos aditivos, y es la estimación de la cuantía de los efectos de los genes de acción aditiva.

Williams (1965) define a la Aptitud Combinatoria General como el comportamiento medio de un consanguíneo en todas las, combinaciones híbridas en que es objeto de prueba.

Márquez (1988) sugirió que la Aptitud Combinatoria significa la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, midiendo su capacidad basándose en su progenie; este mismo autor menciona que no sólo debe determinarse por un solo individuo de la población, pero sí en varios, con el fin de realizar selección de aquellos que mejor se expresen.

Jugenheimer (1981) propone que la ACG es el desempeño promedio de una línea pura en alguna combinación híbrida, y además proporciona información sobre las líneas con alto grado de endogamia que deben producir los mejores híbridos, mientras que la ACE es el desempeño de ciertas combinaciones que son relativamente mejores o peores que aquellas que se esperaría, basándose en el comportamiento medio de las líneas combinadas.

Robles (1986), menciona que la prueba de Aptitud Combinatoria General es un medio de hacer una selección preliminar de un alto número de líneas, ya que determina en cierta forma el comportamiento promedio de las líneas S_1 , puesto que en esta etapa de autofecundación todavía existe bastante heterogeneidad genética dentro de cada una de ellas.

La ACG estima el patrimonio genético de cada línea, es decir, estima la cuantía de los efectos de genes aditivos. Se evalúa mediante el uso de un probador de amplia variabilidad genética, esta prueba es inherente a cada línea en particular (Chávez y López, 1990).

Rojas y Sprague (1952), concluyeron que la Aptitud Combinatoria General en maíz, es relativamente más estable en localidades y años, que la Aptitud Combinatoria Especifica; en su estudio, los efectos aditivos casi no fueron influenciados por el ambiente en líneas de maíz seleccionadas; mientras que en materiales no seleccionados ocurrió lo contrario.

Aptitud Combinatoria Especifica

La ACE es el resultado del efecto conjunto de dos líneas en particular, la cual se mide como desviación de la suma de la media general, más las aptitudes combinatorias de los progenitores implicados en la cruce.

La ACE, evalúa la acción génica debida a todos los efectos no aditivos; a sea, efectos de dominancia, de epistasis, de interacciones génicas, e inclusive la interacción genética-ambiental, y se usa para designar las cruces que se comportan mucho mejor o peor que lo esperado en virtud del comportamiento de los progenitores.

Brauer (1969), señala que la Aptitud Combinatoria Especifica es la de mayor frecuencia posible en combinaciones heterocigóticas Aa y que la presencia de combinaciones dominantes o recesivas homocigóticas significa un cierto grado de individuos con las combinaciones indeseables para medir tal aptitud.

Falconer (1970), señala que la ACE de una cruce no puede ser medida sin hacer y sin probar dicha cruce particular, por lo tanto, para lograr una intensidad de selección razonablemente alta para la ACE tiene que hacerse un gran número de cruces.

Sprague y Tatum (1943), definen a la Aptitud Combinatoria Especifica como aquellos casos en los cuales ciertas combinaciones híbridas hacen relativamente mejores o peores que lo que podría ser esperado en base al comportamiento promedio de las líneas incluidas.

MATERIALES Y METODOS

Material Genético

El material genético lo constituyeron todas las cruzas posibles de las líneas base de una población enana cuya formación y características se detallan a continuación.

La población enana se formó a partir de 13 líneas elite con avanzado grado de endogamia proveniente del Instituto Mexicano del Maíz de la UAA"AN". Esta población se recombinó por segunda vez en Tepalcingo, Mor., durante el ciclo otoño-invierno (1997-1998); posteriormente a la cosecha se sembró en la localidad de Celaya, en el ciclo primavera-verano de 1998, donde se evaluó la progenie formada.

Para constituir la población, primero se realiza un dialélico entre las líneas enanas seleccionadas, obteniéndose todas las cruzas posibles, esto se realizó en la localidad de Celaya, Gto.

En el Diseño II de Carolina del Norte, las 13 líneas se dividieron en siete machos y seis hembras para obtener las progenies que requiere este apareamiento, las cruzas se obtuvieron del mismo diseño dialélico con el objeto de comparar los estimados bajo estos dos modelos.

Cuadro 3.1. Genealogía del material utilizado para producir las progenies evaluadas en las dos poblaciones.

| Línea | Genealogía |
|-------|---------------------|
| 1 | 255-18-19-60-A-A |
| 2 | LBCP C5 F17-3-5-1 |
| 3 | 232-10-11-1-A-A |
| 4 | LBSMPSM C5 S2-1 |
| 5 | LBSMPSM C5 S2-1-2 |
| 6 | ML S4-1 |
| 7 | LBCP C2-1-1-1-A-A-1 |
| 8 | LBSMPSM C5 S4-1-1 |
| 9 | LBSMPSM C5 S4-1-2 |
| 10 | LBCP C4 S4-1 |
| 11 | LBCP C4 S4-2 |
| 12 | LBCP C4 S4-3 |
| 13 | LBCP C5 F1 2-4-1# |

Descripción del Area de Estudio.

La evaluación de las cruzas se realizó en Celaya , Guanajuato, durante el ciclo primavera-verano de 1999. Esta localidad cuenta con buena calidad de suelo y clima benigno, se le considera una localidad representativa del Bajío Mexicano e importante en el área agropecuaria. Además se ha utilizado como un área para un sinnúmero de evaluaciones en lo que se refiere al cultivo del maíz, cuya finalidad es aportar una alternativa más favorable al agricultor de dicha región. Celaya presenta una ubicación geográfica a 20° 32' de Latitud Norte; 100° 49' de Longitud Oeste, con altura de 1754 msnm.

Las condiciones climatológicas que predominan en esta región, son de una temperatura media anual de 20° C; con una precipitación pluvial media anual de 597.3 mm.

Procedimiento Experimental de Campo

La siembra se efectuó de acuerdo a las fechas de siembra establecidas regionalmente. Se usó un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones, sembrando para cada material de evaluación dos surcos de 4.62 m de longitud por 0.75 m de ancho, dando un área de parcela útil de 6.93 m² con 21 plantas por surco. La siembra de los experimentos se llevó a cabo en forma manual, depositando dos semillas por golpe, para posteriormente aclarear a una planta y así asegurar el número óptimo de plantas.

Labores Culturales.

Las labores culturales de esta localidad se realizaron durante todo el ciclo vegetativo y en el momento oportuno, dando prioridad en las primeras etapas de desarrollo de la planta, de tal manera que se mantuvo libre de malezas.

Fertilización.

La fórmula de fertilización aplicada N-P-K fue de 180-90-00, la cual se distribuyó en dos partes, la primera en el momento de la siembra 90-90-00 y la segunda en el primer cultivo. Se usó úrea (46-00-00) como fuente de nitrógeno y superfosfato triple (00-46-00) como fuente de fósforo.

Riegos.

El número de riegos fue variable, sujetándose a la precipitación pluvial y en caso de ser necesario se aplicó agua rodada durante el desarrollo vegetativo en función de los requerimientos del cultivo.

Variables a Evaluar.

En cada una de las parcelas se midieron las siguientes variables agronómicas:

1. Días a Floración Femenina y Masculina (DFF, DFM). Número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta el 50 por ciento de las plantas con espiga que presentan emisión de polen para machos y estigmas receptivos para hembras.

2. Altura de Planta (AP). Distancia en cm desde el nivel del suelo hasta la hoja bandera. Se muestreo de cinco a diez plantas tomadas al azar en la parcela.
3. Altura de Mazorca (AM). Distancia en cm desde el nivel del suelo hasta el nudo de la mazorca principal. Se muestreo de cinco a diez plantas tomadas al azar en la parcela.
4. Número de Plantas Cosechadas (NPC). Total de plantas de la parcela útil.
5. Número de Mazorcas (NM). Total de mazorcas cosechadas por parcela útil.
6. Acame de Raíz (AR). Por ciento de plantas en la parcela que tuvieron una inclinación igual o mayor a 30 grados respecto a la vertical.
7. Acame de Tallo. (AT). Por ciento de plantas en la parcela que presenta el tallo quebrado debajo de la mazorca, con relación al número total de plantas por parcela.
8. Aspecto de la Planta (ASP). Poco después de la floración se califican las plantas de cada parcela tomando en cuenta sus características, tales como: uniformidad, posición del tallo, etc.; para ello se utilizó una escala del uno al cinco, donde el uno es el mejor y el cinco es el peor.

9. Aspecto de Mazorca (ASM). Se califica el grupo de mazorcas de cada una de las parcelas tomando en cuenta sus características, tales como: uniformidad y tamaño de las mazorcas, daño causado por plagas y enfermedades, llenado de grano. Se utilizó una escala del uno al cinco, donde uno es el óptimo y cinco es el peor.

10. Cobertura de Mazorca (CM). Por ciento de mazorca con mala cobertura en relación al total de mazorcas.

11. Humedad del Grano (CH%). Se obtiene tomando una muestra aleatoria de 100 g, de las mazorcas en cada parcela y se coloca en el determinador de humedad Dickey y John.

12. Peso de Campo (PC). Peso en kg. de mazorcas por parcela al momento de la cosecha.

Rendimiento por Hectárea.

Se tomó una muestra aleatoria de 100 g. de grano del montón de mazorcas de la parcela para determinar el contenido de humedad al momento de la cosecha con un determinador de humedad Dickey y John, calculándose el por ciento de materia seca por diferencia con el 100 por ciento.

El peso seco se estimó multiplicando el por ciento de materia seca por el peso de campo.

Finalmente el rendimiento en mazorca al 15.5 por ciento de humedad se obtuvo al multiplicar el peso de campo por el factor de conversión a ton ha^{-1} .

$$\text{FC} = \frac{10\,000 \text{ m}^2}{\text{APU} \times 0.845 \times 1\,000}$$

Donde:

FC = Factor de conversión a ton ha^{-1} .

APU = Area de parcela útil (distancia entre surcos x longitud de surco x número de surcos).

0.845 = Constante para obtener el rendimiento al 15.5 por ciento de humedad.

1 000 = Coeficiente para obtener el rendimiento en ton ha^{-1} .

10 000 m^2 = Superficie de una hectárea.

Análisis Estadísticos

Análisis Dialélico.

Basándose en el análisis propuesto por Griffing (1956a), se utilizó el Diseño IV (el cual solo incluye las cruzas directas F1). El modelo lineal aditivo fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + y_k + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij} = Valor fenotípico observado de las cruzas con progenitores i, j.

μ = Media General.

g_i, g_j = Efecto de la ACG del progenitor i, j.

s_{ij} = Efecto de la ACE de la craza (ij).

y_k = Efecto de k-ésima repetición.

e_{ijk} = Error experimental.

I = 1,2p

p = 13

J = 1,2p

r = 2

K = 1,.....r

i < j

Se practicó el análisis de varianza en la localidad (Cuadro 3.2) de acuerdo a las especificaciones para el diseño IV de Griffing.

Cuadro 3.2 Cuadro indicativo del análisis de varianza dialélico.

| Efecto | G.L | CM |
|---------------|-------------------------|-----------|
| Bloques | $r - 1$ | |
| Cruzas | $\frac{p(p-1) - 1}{2}$ | M4 |
| ACG | $p - 1$ | M3 |
| ACE | $\frac{p(p-3)}{2}$ | M2 |
| Error | Por diferencia | M1 |
| Total | $\frac{rp(p-1) - 1}{2}$ | |

Los efectos se estimaron de la siguiente forma:

$$G_i = \frac{1}{P(p-2)} (p X_{i.} - 2X_{..})$$

$$S_{ij} = X_{ij} - \frac{1}{P-2} (X_{i.} + X_{.j}) + \frac{2X_{..}}{(p-1)(p-2)}$$

Donde:

G_i = Aptitud combinatoria general (ACG) del i-ésimo progenitor.

S_{ij} = Aptitud combinatoria especifica (ACE) de la cruza entre el i-ésimo y j-ésimo progenitor.

P = Número de progenitores.

X_i = Total del progenitor i .

X_j = Total del progenitor j .

X_{ij} = Total de cruzas.

$X_{..}$ = Gran total.

El análisis dialélico se realizo utilizando el paquete Diallel por Mark Burow y James Coors.

Además, también se calculó el coeficiente de variación (CV), para determinar la variación entre los datos experimentales que intervinieron en el análisis de varianza mediante la fórmula siguiente:

$$CV = \frac{\sqrt{CMEE}}{\bar{X}} \times 100$$

Donde:

CV = Coeficiente de variación.

CMEE = Cuadrado medio del error experimental.

\bar{X} = Media general.

Formulas para estimar las varianzas en el Análisis Dialélico.

$$\sigma^2 \text{ ACG} = \frac{M3 - M2}{r(P - 2)}$$

$$\sigma^2 \text{ ACE} = \frac{M2 - M1}{r}$$

$$\sigma^2 \text{ A} = 2\sigma^2 \text{ ACG}$$

$$\sigma^2 \text{ D} = \sigma^2 \text{ ACE}$$

$$h^2 = \frac{\sigma^2 \text{ A}}{\sigma^2 \text{ F}}$$

$$\sigma^2 \text{ F} = \sigma^2 \text{ A} + \sigma^2 \text{ D} + \frac{\sigma^2 \text{ e}}{r}$$

Análisis del Diseño II de Carolina del Norte.

Para las estimaciones de los componentes de la varianza genética, se utilizó el Diseño II de Carolina del Norte, propuesto por Comstock y Robinson (1948), dividiéndose en siete grupo de individuos machos con seis hembras. Este diseño hace posible los cruzamientos entre un grupo de individuos macho (m) y un grupo de individuos hembras (h), resultando en total los descendientes (hm). Así, cada apareamiento produce una familia de hermanos completos y el grupo de cruzas que tengan un progenitor en común constituye una familia de medios hermanos.

Una ventaja de usar este diseño es que permite incluir mayor número de progenitores, aprovechando mejor los recursos, ya que en los dialélicos no es posible.

El modelo lineal que sigue el Diseño II de Carolina del Norte es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + M_i + H_j + \phi_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$i = 1, 2, \dots, m$ (machos)

$j = 1, 2, \dots, h$ (hembras)

$k = 1, 2, \dots, r$ (repeticiones)

Y_{ij} = Observación de cruzamiento entre el i -ésimo macho y la j -ésima hembra en la k -ésima repetición.

μ = Media general.

M_i = Efecto del i -ésimo macho.

H_j = Efecto de la j -ésima hembra.

ϕ_{ij} = Efecto de la interacción de i -ésimo macho con la j -ésima hembra.

ε_{ijk} = Error experimental asociado con la ij -ésima cruza en la k -ésima repetición.

Para los diferentes caracteres estudiados se realizó un análisis de varianza para la localidad de Celaya, Gto., con base en el Diseño II de Carolina del Norte

Cuadro 3.3 Análisis de varianza bajo el Diseño II de Carolina del Norte. Todos los efectos son fijos.

| F.V | GL | CM | ECM |
|---------------|-----------|-----------|--|
| Machos | $m-1$ | M1 | $\sigma^2 E + r\sigma^2 M^*H + rh\sigma^2 M$ |
| Hembras | $h-1$ | M2 | $\sigma^2 E + r\sigma^2 M^*H + rm\sigma^2 H$ |

| | | | |
|------------------|--------------|----|-------------------------------|
| Machos x hembras | $(m-1)(h-1)$ | M3 | $\sigma^2 E + r\sigma^2 M^*H$ |
| Repeticiones | $r-1$ | | |
| Error | $mh(r-1)$ | M4 | $\sigma^2 E$ |
| Total | $rmh-1$ | | |

Estimaciones de Aptitud Combinatoria.

Las estimaciones de los efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) y Especifica (ACE), con la finalidad de determinar el comportamiento genético de los progenitores y las cruzas, se realizó con las de la variable rendimiento, utilizando las siguientes fórmulas (Sprague y Tatum, 1942).

$$\text{Machos ACG} = (X_1 - X_2)$$

Donde:

X_1 = Media del rendimiento del progenitor macho.

X_2 = Media general.

$$\text{Hembras ACG} = (X_3 - X_2)$$

Donde:

X_3 = Media del rendimiento del progenitor hembra.

X_2 = Media general.

Para cruces ACE = $(X_1 - X_2) - GP_1 - GP_2$

Donde:

X_1 = Media de rendimiento de la cruce

X_2 = Media general

GP_1 = ACG del progenitor 1

GP_2 = ACG del progenitor 2

Fórmulas para estimar las varianzas en el Diseño II de Carolina del Norte.

$$\sigma^2M = \frac{M1 - M3}{rh}$$

$$\sigma^2H = \frac{M2 - M3}{rm}$$

$$\sigma^2HM = \frac{M3 - M4}{r}$$

$$\sigma^2e = M4$$

$$\sigma^2A = \frac{2(\sigma^2M + \sigma^2H)}{2} *$$

$$\sigma^2D = 2\sigma^2HM*$$

$$h^2 = \frac{\sigma^2A}{\sigma^2F}$$

$$\sigma^2 F = \sigma^2M + \sigma^2H + \sigma^2M * H + \frac{\sigma^2e}{r}$$

* Asumiendo que el coeficiente de endogamia es de uno F=1.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos del análisis de varianza para el diseño dialélico se concentran en el Cuadro 4.1, correspondiente a la localidad de Celaya, Gto. (1999), para algunas de las variables agronómicas evaluadas que son: días a floración masculina (DFM); días a floración femenina (DFF); altura de planta (ALPA); altura de mazorca (ALMA) y rendimiento (RE).

Cuadro 4.1 cuadrados medios del análisis dialélico para la población enana, evaluada en la localidad de Celaya, Gto. (1999).

| FV | GL | DFM (Días) | DFF (Días) | ALPA (cm) | ALMA (cm) | RE (Ton ha ⁻¹) |
|--------------|----|---------------|---------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|
| Rep. | 1 | 27.083** | 21.564** | 231.410 ^{NS} | 92.308 ^{NS} | 15.636 ^{NS} |
| Cruzas | 77 | 9.225** | 9.596** | 1545.096** | 883.613** | 21.087** |
| ACG | 12 | 38.145** | 40.603** | 4460.346** | 1855.951** | 45.547** |
| ACE | 65 | 3.886** | 3.872** | 1006.896** | 704.105** | 16.572** |
| Error | 77 | 1.863 | 1.915 | 318.748 | 238.736 | 4.087 |
| Medias | | 84.532 | 85.641 | 188.935 | 96.307 | 14.381 |
| CV (%) | | 1.615 | 1.616 | 9.450 | 16.044 | 14.058 |
| $\sigma^2 A$ | | 3.114 | 3.339 | 313.950 | 104.713 | 2.634 |
| $\sigma^2 D$ | | 1.011 | 0.978 | 344.073 | 232.684 | 6.242 |
| h^2 | | 0.616 | 0.633 | 0.384 | 0.229 | 0.241 |

*, ** = Significativo y altamente significativo, respectivamente.

NS = No significativo.

En el cuadro anterior se observa que las cruzas mostraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) para todas las variables (DFM, DFF, ALPA, ALMA y REN), esto nos da a entender que existe una gran variación en la

constitución genética de los progenitores y esto permitirá que al cruzar dos líneas altamente contrastantes origine híbridos con capacidad heterótica.

En lo que respecta a la ACG se observa que todas las variables muestran alta significancia, lo que indica que las ACG de las líneas son diferentes entre ellas. En cuanto a la ACE, en todas las variables se encontró alta significancia, esto indica que existe mucha varianza de dominancia entre líneas.

Respecto a los componentes de varianza genética, se observa que la varianza de dominancia fue importante para altura de planta, altura de mazorca y rendimiento; la varianza aditiva fue importante para días a floración masculina y femenina.

La heredabilidad en sentido estrecho fue alta para los días a floración masculina y femenina, fue intermedia para la altura de planta y fue baja para altura de mazorca y rendimiento.

El coeficiente de variación en los diferentes caracteres estudiados en la localidad fueron relativamente bajos, ya que el más alto fue para altura de mazorca con 16 por ciento, esto nos permite tener la confianza en los procedimientos experimentales.

Rendimiento (REN)

Efectos de Aptitud Combinatoria General.

Los estimadores de los efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG), para rendimiento de grano (ton ha^{-1}) de las trece líneas, se presentan en el cuadro 4.2, en donde la línea 6 registro el valor más alto de ACG ($3.905 \text{ ton ha}^{-1}$), mientras que el valor más bajo lo obtuvo la línea 8 ($-1.583 \text{ ton ha}^{-1}$). Los valores de ACG son indicativos de cuánto superan a la media general, en donde menciona el comportamiento de un progenitor en promedio en una serie de cruzamientos en donde interviene, o en caso contrario, en cuanto esta debajo de la media general el comportamiento de un progenitor en una serie de cruzamientos. Basándose en el Cuadro 4.2, del total de líneas se encontraron efectos positivos y negativos de ACG, de acuerdo con esto, las líneas con el mejor efecto fueron: la 6, 12 y 5, con valores de 3.905 , 1.653 y $0.596 \text{ ton ha}^{-1}$ respectivamente.

Cuadro 4.2 Efecto de ACG para rendimiento de grano en ton ha⁻¹. de trece líneas enanas de maíz.

| Líneas | Media | ACG | ◆ |
|--------|--------|--------|----|
| 1 | 13.555 | -0.900 | 10 |
| 2 | 13.526 | -0.932 | 11 |
| 3 | 13.461 | -1.003 | 12 |
| 4 | 13.880 | -0.546 | 8 |
| 5 | 14.928 | 0.596 | 3 |
| 6 | 17.961 | 3.905 | 1 |
| 7 | 14.111 | -0.294 | 5 |
| 8 | 12.930 | -1.583 | 13 |
| 9 | 13.806 | -0.627 | 9 |
| 10 | 14.067 | -0.342 | 6 |
| 11 | 13.999 | -0.416 | 7 |
| 12 | 15.897 | 1.653 | 2 |
| 13 | 14.832 | 0.492 | 4 |

◆ = Lugar ocupado según su valor de ACG.

Efectos de Aptitud Combinatoria Especifica

Los efectos de ACE para rendimiento de grano en ton ha⁻¹ se presentan en el Cuadro 4.3, donde el mejor efecto lo aportó la combinación 3 x 13 (8.429) con un rendimiento promedio de 22.299 ton ha⁻¹, mientras que la cruza 5 x 9 obtuvo el menor valor de ACE (-9.197), con una media de rendimiento de 5.512 ton ha⁻¹. Es posible observar que en la mejor cruza 3 x 13 no interviene ninguna de las dos líneas que obtuvieron los valores más altos de ACG (líneas doce y cuatro), en cambio se observa que en esta misma cruza, la línea tres tiene un valor bajo de ACG (-1.003) y la línea trece un valor de 0.492 y en combinación dan un valor de ACE de 8.429, con un rendimiento promedio de 22.299. Por otro lado, la cruza 6 x 12 que comprende a las líneas con los mejores efectos de ACG (3.905 y 1.653 respectivamente), con rendimiento promedio de 17.669 ton ha⁻¹, dio un valor de ACE de -2.610, o sea que tiene un rendimiento de 2.61 ton ha⁻¹ por debajo de la media general. Lo anterior da a

entender que la cruza con mejor efecto de ACE no se da por las líneas que tienen los mejores efectos de ACG, y esto es debido a que la ACG se relaciona con los efectos aditivos de los genes y la ACE con las desviaciones de dominancia, epistasis e interacciones entre loci como lo mencionan Cockerham (1963) y Kambal y Wester (1965).

Las cruzas que mostraron los mejores valores de ACE fueron: 3 x 13, 4 x 5, 6 x 13, 6 x 10 y 4 x 9; con valores de 8.429, 5.895, 5.050, 4.709 y 4.512 respectivamente.

Cuadro 4.3 Efectos de ACE para rendimiento de grano en ton ha⁻¹ de las 78 cruzas evaluadas en la localidad de Celaya, Gto. (1999).

| Cruzas | | ACE | Media | ❖ |
|--------|----|--------|--------|----|
| 3 | 13 | 8.429 | 22.299 | 1 |
| 4 | 5 | 5.895 | 20.327 | 2 |
| 6 | 13 | 5.05 | 23.828 | 3 |
| 6 | 10 | 4.709 | 22.653 | 4 |
| 4 | 9 | 4.512 | 17.72 | 5 |
| 8 | 9 | 3.976 | 16.147 | 6 |
| 7 | 10 | 3.651 | 17.395 | 7 |
| 2 | 10 | 3.591 | 16.697 | 8 |
| 9 | 10 | 2.855 | 16.266 | 9 |
| 2 | 12 | 2.566 | 17.669 | 10 |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| 9 | 13 | -2.604 | 11.641 | 70 |
| 6 | 12 | -2.61 | 17.669 | 71 |
| 1 | 10 | -3.164 | 9.973 | 72 |
| 4 | 6 | -3.408 | 14.332 | 73 |
| 7 | 13 | -3.461 | 11.117 | 74 |
| 3 | 8 | -3.794 | 8 | 75 |
| 8 | 10 | -5.432 | 7.023 | 76 |
| 2 | 13 | -6.202 | 7.738 | 77 |
| 5 | 9 | -9.197 | 5.512 | 78 |

- ❖ Lugar ocupado atendiendo a los valores de ACE

Días a Floración Femenina (DFF)

Efectos de Aptitud Combinatoria General.

En el Cuadro 4.4 se concentran los valores de ACG para días a floración femenina, en donde se observa que la línea 5 y 3 presentan 2.437 y 2.300 respectivamente, aumentando el tiempo en días a floración por arriba de la media general (86 días); mientras que las líneas 2 y 7 tienen valores más bajos de ACG con -1.153 y -2.108 respectivamente, lo que indica una reducción en los días a floración con respecto a la media general. Por lo anterior podemos decir que las líneas 4, 2 y 7 resultan ser más precoces, pero su capacidad para transmitir tal carácter a su descendencia es baja; en cambio, las líneas 5, 3 y 9 tiene buena capacidad para transmitir dicho carácter a su descendencia y la diferencia es solo un día con respecto a la media.

Cuadro 4.4 Efecto de la ACG para días a flor femenina en trece líneas enanas de maíz.

| Líneas | Medias | ACG | ◆ |
|--------|--------|--------|----|
| 1 | 85 | -0.608 | 7 |
| 2 | 85 | -1.153 | 12 |
| 3 | 88 | 2.300 | 2 |
| 4 | 85 | -0.926 | 11 |
| 5 | 88 | 2.437 | 1 |
| 6 | 85 | -0.790 | 10 |
| 7 | 84 | -2.108 | 13 |
| 8 | 85 | -0.744 | 9 |
| 9 | 87 | 1.164 | 3 |
| 10 | 86 | 0.618 | 5 |
| 11 | 86 | 0.709 | 4 |
| 12 | 85 | -0.653 | 8 |
| 13 | 85 | -0.244 | 6 |

◆ = Lugar ocupado según su valor de ACG.

Efectos de Aptitud Combinatoria Especifica

Los efectos de ACE para días floración femenina, se presentan en el Cuadro 4.5, en el cual destacan las cruzas 2 x 13, 5 x 9 y 4 x 5 con los valores de ACE de 3.257, 2.757 y 2.348, con medias de 88, 92 y 90 días respectivamente. Lo anterior indica que estas cruzas son más tardías a floración, mientras tanto, las cruzas 2 x 5, 1 x 3, y 4 x 11 (-3.929, -2.833 y -2.424) mostraron los efectos más bajos de ACE, esto nos indica que estas cruzas muestran precocidad en los días a floración con respecto a la media.

Cuadro 4.5 Efecto de ACE para días a floración femenina.

| Cruzas | ACE | Media | ❖ |
|-----------|-------|-------|---|
| 2 13 | 3.257 | 88 | 1 |
| 5 9 | 2.757 | 92 | 2 |
| 4 5 | 2.348 | 90 | 3 |

| | | | | |
|---|----|--------|----|----|
| 5 | 8 | 2.166 | 90 | 4 |
| 3 | 11 | 1.848 | 91 | 5 |
| 2 | 11 | 1.803 | 87 | 6 |
| 2 | 7 | 1.621 | 84 | 7 |
| 6 | 8 | 1.393 | 86 | 8 |
| 2 | 10 | 1.393 | 87 | 9 |
| 3 | 13 | 1.303 | 89 | 10 |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| 7 | 10 | -1.651 | 83 | 70 |
| 6 | 7 | -1.742 | 81 | 71 |
| 7 | 8 | -1.787 | 81 | 72 |
| 5 | 13 | -1.833 | 86 | 73 |
| 2 | 12 | -1.833 | 82 | 74 |
| 2 | 8 | -2.242 | 81 | 75 |
| 4 | 11 | -2.424 | 83 | 76 |
| 1 | 3 | -2.833 | 85 | 77 |
| 2 | 5 | -3.924 | 83 | 78 |

❖ = Lugar ocupado atendiendo a sus valores de ACE.

Días a floración Masculina (DFM)

Efectos de Aptitud Combinatoria General.

Los valores de ACG para días a floración masculina se muestran en el Cuadro 4.6, en donde podemos observar que las líneas 5 y 3 presentan los mejores efectos de ACG con 2.328 y 2.192, con media de 87 días de floración para ambas líneas, por lo tanto tienen buena capacidad para transmitir dicha características a su progenie.

Mientras tanto, las líneas 7, 2 y 4 presentan valores de ACG de -2.171, -1.034 y -0.853 respectivamente, se puede observar que la línea más precoz es

la 7 con 83 días mostrando una diferencia de 4 días con respecto a la más tardía.

Cuadro 4.6 Efecto de la ACG para días a floración masculina en trece líneas enanas de maíz.

| Líneas | Medias | ACG | ◆ |
|--------|--------|--------|----|
| 1 | 84 | -0.534 | 7 |
| 2 | 84 | -1.034 | 12 |
| 3 | 87 | 2.192 | 2 |
| 4 | 84 | -0.853 | 11 |
| 5 | 87 | 2.328 | 1 |
| 6 | 84 | -0.807 | 10 |
| 7 | 83 | -2.171 | 13 |
| 8 | 84 | -0.716 | 9 |
| 9 | 86 | 1.146 | 3 |
| 10 | 85 | 0.465 | 5 |
| 11 | 85 | 0.783 | 4 |
| 12 | 84 | -0.671 | 2 |
| 13 | 84 | -0.125 | 7 |

◆ = Lugar ocupado según su valor de ACG.

Efecto de Aptitud Combinatoria Especifica

Los efectos de ACE para días floración masculina se concentran en el Cuadro 4.7, donde el mejor efecto lo aportó la combinación 2 x 13 (3.128) con una media de 87 días, mientras que la cruce 2 x 5 obtuvo el menor valor de ACE (-3.825) y una media de 82 días. Los valores altos de ACE indican que la cruce anda por arriba de la media, así que estos van a ser más tardíos y los valores bajos indica que son más precoces; por lo tanto, las cruces 2 x 5, 1 x 3, y 4 x 11 con valores de ACE de -3.825, -2.689 y -2.462 respectivamente son las cruces más precoces.

Cuadro 4.7 Efecto de ACE para días a floración masculina.

| Cruzas | | ACE | Media | ❖ |
|--------|----|--------|-------|----|
| 2 | 13 | 3.128 | 87 | 1 |
| 4 | 5 | 2.492 | 89 | 2 |
| 5 | 8 | 2.356 | 89 | 3 |
| 5 | 9 | 1.992 | 90 | 4 |
| 3 | 11 | 1.992 | 90 | 5 |
| 2 | 11 | 1.719 | 86 | 6 |
| 2 | 7 | 1.674 | 83 | 7 |
| 2 | 10 | 1.537 | 86 | 8 |
| 5 | 6 | 1.446 | 88 | 9 |
| 3 | 13 | 1.401 | 88 | 10 |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| 7 | 8 | -1.643 | 80 | 70 |
| 5 | 12 | -1.689 | 85 | 71 |
| 5 | 13 | -1.734 | 85 | 72 |
| 2 | 12 | -1.825 | 81 | 73 |
| 6 | 7 | -2.053 | 80 | 74 |
| 2 | 8 | -2.28 | 81 | 75 |
| 4 | 11 | -2.462 | 82 | 76 |
| 1 | 3 | -2.689 | 84 | 77 |
| 2 | 5 | -3.825 | 82 | 78 |

❖ = Lugar ocupado atendiendo a sus valores de ACE.

Altura de Planta (ALPA)

Efectos de Aptitud Combinatoria General.

Los efectos de ACG para altura de planta se encuentran en el Cuadro 4.8, donde es posible analizar que los progenitores que mostraron mejor efecto de ACG fueron las líneas 2, 6 y 5 con valores de 31.52, 20.706 y 15.888 respectivamente, indicando con ello su buena capacidad para transmitir tal característica a su progenie, aunque se da un aumento a la altura de la planta por arriba de su media.

Por otro lado, tenemos que las líneas que aportaron los valores más bajos de ACG fueron las líneas 1, 10 y 11 con valores de -16.293, -12.475 y -8.611 respectivamente, mostrando con ello su mala aptitud para transmitir dicha

característica a su descendencia, aunque dan una reducción relativa en la altura por debajo de su media.

Cuadro 4.8 Efecto de la ACG para altura de planta en trece líneas enanas de maíz.

| Líneas | Medias | ACG | ◆ |
|--------|---------|---------|----|
| 1 | 174.000 | -16.293 | 13 |
| 2 | 217.833 | 31.524 | 1 |
| 3 | 183.625 | -5.793 | 8 |
| 4 | 183.750 | -5.657 | 7 |
| 5 | 203.500 | 15.888 | 3 |
| 6 | 207.916 | 20.706 | 2 |
| 7 | 182.041 | -7.520 | 10 |
| 8 | 182.291 | -7.248 | 9 |
| 9 | 184.458 | -4.884 | 5 |
| 10 | 177.500 | -12.475 | 12 |
| 11 | 181.041 | -8.611 | 11 |
| 12 | 194.291 | 5.842 | 4 |
| 13 | 183.916 | -5.475 | 6 |

◆ = Lugar ocupado según su valor de ACG.

Efecto de Aptitud Combinatoria Especifica

En el Cuadro 4.9, se muestran los efectos de ACE para las diferentes cruzas evaluadas, en lo que a altura de planta se refiere podemos observar que las cruzas con mejores efectos de ACE son: 3 x 13, 4 x 5 y 2 x 12 con valores de 79.833, 63.333 y 38.696 respectivamente. Estos valores muestran que estas cruzas son más altas en relación a la media, mientras que las cruzas que obtuvieron los valores más bajos de ACE fueron: 2 x 3, 1 x 13 y 8 x 10 con valores de -42.484, -37.166 y -34.212 en el mismo orden, estos valores indican que estas cruzas son más bajas que la media.

Cuadro 4.9 Efecto de ACE para altura de planta.

| Cruzas | ACE | Media | ◆ |
|--------|--------|-------|---|
| 3 13 | 79.833 | 257.5 | 1 |

| | | | | |
|---|----|---------|-------|----|
| 4 | 5 | 63.333 | 262.5 | 2 |
| 2 | 12 | 38.696 | 265 | 3 |
| 2 | 11 | 38.151 | 250 | 4 |
| 1 | 4 | 38.015 | 205 | 5 |
| 6 | 8 | 35.106 | 237.5 | 6 |
| 9 | 11 | 27.06 | 202.5 | 7 |
| 2 | 10 | 27.015 | 235 | 8 |
| 1 | 3 | 20.651 | 187.5 | 9 |
| 2 | 8 | 16.878 | 230 | 10 |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| 3 | 12 | -21.484 | 167.5 | 70 |
| 3 | 4 | -22.484 | 155 | 71 |
| 4 | 11 | -27.166 | 147.5 | 72 |
| 2 | 5 | -29.348 | 207 | 73 |
| 3 | 11 | -29.53 | 145 | 74 |
| 5 | 9 | -29.939 | 170 | 75 |
| 8 | 10 | -34.212 | 135 | 76 |
| 1 | 13 | -37.166 | 130 | 77 |
| 2 | 13 | -42.484 | 172.5 | 78 |

❖ = Lugar ocupado atendiendo a sus valores de ACE.

Altura de Mazorca (ALMA)

Efectos de Aptitud Combinatoria General.

Los valores de ACG para altura de mazorca se concentran en el Cuadro 4.10, donde se muestra que las mejores líneas, por sus valores de ACG fueron: la 2, 6 y 5 con valores de 21.164, 10.755 y 8.709 respectivamente, estos valores aumentan la altura de la mazorca, mientras que, las líneas 7, 10 y 8 muestran los valores más bajos de ACG, siendo estos -8.381, -8.244 y -7.926 respectivamente, estos valores indican la reducción de la altura respecto a la media general.

Cuadro 4.10 Efecto de la ACG para altura de mazorca en trece líneas enanas de maíz.

| Líneas | Medias | ACG | ◆ |
|--------|---------|--------|----|
| 1 | 93.125 | -3.472 | 7 |
| 2 | 115.708 | 21.164 | 1 |
| 3 | 89.541 | -7.381 | 10 |
| 4 | 93.541 | -3.017 | 6 |
| 5 | 10.291 | 8.709 | 3 |
| 6 | 106.166 | 10.755 | 2 |
| 7 | 88.625 | -8.381 | 13 |
| 8 | 89.041 | -7.926 | 11 |
| 9 | 90.958 | -5.835 | 9 |
| 10 | 88.750 | -8.244 | 12 |
| 11 | 97.750 | 1.573 | 5 |
| 12 | 102.166 | 6.391 | 4 |
| 13 | 92.333 | -4.335 | 8 |

◆ =Lugar ocupado según su valor de ACG.

Efecto de Aptitud Combinatoria Especifica

En el Cuadro 4.11 se concentran los valores de ACE, se observa que las cruzas más sobresalientes son: 3 x 13, 2 x 11 y 4 x 5, con valores de ACE de 67,909, 48.454 y 43.0 respectivamente, esto indica que la ACE positiva aumenta la altura de mazorca por arriba de la media.

Por otro lado, se observa que el efecto más bajo de ACE, lo obtuvo la combinación 2 x 13 (-50.636), con una media de 63, lo cual indica en cuanto se reduce la altura de mazorca con relación a la media.

Cuadro 4.11 Efecto de ACE para Altura de Mazorca.

| Cruzas | | ACE | Media | ❖ |
|--------|----|---------|-------|----|
| 3 | 13 | 67.909 | 152.5 | 1 |
| 2 | 11 | 48.454 | 167.5 | 2 |
| 4 | 5 | 43 | 145 | 3 |
| 2 | 12 | 36.136 | 160 | 4 |
| 1 | 4 | 30.181 | 120 | 5 |
| 6 | 8 | 28.363 | 127.5 | 6 |
| 7 | 9 | 22.909 | 105 | 7 |
| 1 | 3 | 22.045 | 107.5 | 8 |
| 2 | 10 | 15.772 | 125 | 9 |
| 9 | 11 | 15.454 | 107.5 | 10 |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| 7 | 10 | -17.181 | 62.5 | 70 |
| 2 | 5 | -17.181 | 109 | 71 |
| 4 | 8 | -17.863 | 67.5 | 72 |
| 3 | 12 | -20 | 75 | 73 |
| 3 | 8 | -21 | 60 | 74 |
| 1 | 9 | -22 | 65 | 75 |
| 5 | 9 | -24.181 | 75 | 76 |
| 3 | 11 | -28 | 62.5 | 77 |
| 2 | 13 | -50.636 | 62.5 | 78 |

❖ = Lugar ocupado atendiendo a sus valores de ACE.
Análisis de varianza.

Los resultados obtenidos del análisis de varianza para el diseño II de Carolina del Norte se concentran en el Cuadro 4.12, correspondiente a la localidad de Celaya, Gto. (1999) para algunas de las variables agronómicas evaluadas como son: rendimiento (RE), días a floración masculina (DFM); días a floración femenina (DFF); altura de planta (ALPA), y altura de mazorca (ALMA)

Cuadro 4.12 Cuadrados medios del análisis de varianza del Diseño II de Carolina del Norte, para rendimiento de grano en ton/ha y otros

caracteres, para la población enana evaluada en la localidad de Celaya, Gto. (1999).

| F.V | G.L | REN. (Ton/ha) | DFM (Días) | DFF (Días) | ALPA (cm) | ALMA (cm) |
|----------------------|-----|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| Machos | 6 | 63.204** | 42.873** | 46.650** | 7045.607** | 2714.944* |
| Hembras | 5 | 32.117** | 14.733** | 15.821** | 876.333** | 654.019* |
| Hembras x Machos. | 30 | 23.286* | 4.111 ^{NS} | 4.260 ^{NS} | 1203.050 ^{NS} | 1081.930 ^{NS} |
| Rep. | 1 | 5.505 ^{NS} | 13.761** | 10.011** | 144.047 ^{NS} | 96.428 ^{NS} |
| Error | 41 | 4.791 | 2.444 | 2.426 | 320.876 | 317.160 |
| C.V | | 15.089 | 1.845 | 1.815 | 9.585 | 18.713 |
| σ^2A | | 3.957 | 3.988 | 4.357 | 463.543 | 105.519 |
| σ^2D | | 18.494 | 1.666 | 1.832 | 882.15 | 764.768 |
| h^2 | | 0.254 | 0.654 | 0.671 | 0.435 | 0.163 |

*, ** = Significativo y altamente significativo, respectivamente.
NS = No significativo.

Comparación de Medias.

Al comparar las medias de los caracteres podemos darnos cuenta que existen grandes diferencias en las fuentes machos y hembras que presentaron diferencias estadísticas altamente significantes ($p < 0.01$) para el carácter rendimiento, lo cual indica marcada divergencia genética que existe entre machos, al igual que en hembras, los cuales, al combinarse se espera expresen alto potencial genético en sus cruces. Por esta razón, se observaron grandes

diferencias en rendimiento, teniendo la más baja con 5.152 ton ha⁻¹ y la más alta con 23.828 ton ha⁻¹, dando una diferencia de 18.676 ton ha⁻¹ entre el mejor y el peor.

Tomando en cuenta la importancia que tiene estudiar cada uno de estos caracteres, la floración presentó diferencias estadísticas altamente significantes ($p < 0.01$) para machos y hembras, mostrando intervalos de 79 a 90 días para floración masculina y 80 a 92 días en floración femenina y que muestran una gran diferencia genética entre ellos. Estos caracteres son de mucha importancia para clasificar a los progenitores de acuerdo con su comportamiento agronómico que ayudará a determinar una pronta y acertada decisión de seleccionar los mejores materiales que se espera expresen características genéticas favorables de acuerdo a su maduración floral llamados precoces, intermedios y tardíos que permitan seleccionar en función de los intereses buscados.

En altura de planta se encontraron diferencias altamente significativa ($p < 0.01$) para machos y hembras, donde la planta de porte más bajo fue de 100 cm y la más alta de 290 cm.

La importancia de conocer el porte de los materiales como progenitores, juega un papel importante en la agricultura, ya que utilizar materiales de porte bajo dan la oportunidad de aumentar la densidad de población por unidad de

superficie para aumentar la productividad por superficie. Por otro lado, materiales de porte alto tienen doble propósito cuando se utilizan para rendimiento de grano y como forraje.

Para el carácter de altura de mazorca en machos y hembras mostró diferencia significativa ($p < 0.05 > 0.01$) con el valor más bajo de 50 cm y el más alto de 195 cm, este carácter está relacionado con altura de planta.

La interacción hembras x machos permite monitorear el comportamiento de las combinaciones híbridas, y los resultados estarán en función de las diferencias genéticas que expresen los progenitores cuando se combinan, obteniendo excelentes, buenas o malas progenies, en esta variable de interacción, hubo diferencias estadísticas sólo significativas ($p < 0.05 > 0.01$) para rendimiento, y la cruce 6 x 13 formó una F1 con excelente rendimiento lo que puede atribuir a que sus progenitores expresaron buenos efectos génicos cuando se combinaron, lo que permitió expresar el más alto rendimiento ($23.828 \text{ ton ha}^{-1}$).

Existieron sin embargo cruces como 3 x 13, donde existió una desigualdad genética de progenitores, es decir, cuando cruzamos progenitor bueno de ACG (progenitor 13) por uno malo (progenitor 3), de tal forma que al combinarlos reflejaron buena interacción expresando alto rendimiento como fue el caso de $22.299 \text{ ton ha}^{-1}$. Esto tiene una posible explicación ya que los

progenitores siguen cierto comportamiento mediante cruzamiento que son específicos para formar buenas cruzas y se debe en gran parte a los efectos aditivos que son heredables a su progeñe, cuando esto no ocurre genéticamente entonces podemos pensar que los efectos son producto del ambiente donde se establecieron. Para esta fuente no presentaron diferencia estadística los caracteres días a floración masculina y femenina, así como altura de planta y mazorca.

La fuente repeticiones mostró diferencias estadísticas altamente significativas solo para días a floración masculina y femenina.

Respecto a los componentes de varianza genética, se observa que la varianza de dominancia fue importante para rendimiento, altura de planta y altura de mazorca; en tanto que la varianza aditiva fue importante para días a floración masculina y femenina.

El coeficiente de variación de los diferentes caracteres estudiados en la localidad fue relativamente bajo, ya que el más alto fue para altura de mazorca con 18.7 por ciento, esto permite confianza en los procedimientos experimentales, lo mismo que en los resultados obtenidos.

La heredabilidad en sentido estrecho, se mostró alta para días a floración masculina y femenina, intermedia para altura de planta y baja para altura de mazorca y rendimiento.

En este diseño no se reportan los efectos de ACG y ACE puesto que el Diseño II daría resultados con las mismas tendencias que lo detectado en el Dialélico.

CONCLUSIONES

En base a los objetivos planteados y de acuerdo a los resultados que se obtuvieron en el presente trabajo, se concluye lo siguiente:

1. En los dos Diseños genéticos evaluados, se observa que la tendencia de la **varianza de dominancia** fue importante para rendimiento, altura de planta y altura de mazorca, y la **varianza aditiva** fue importante para días a floración masculina y femenina. Esto quiere decir que tienen la misma capacidad de estimación.
2. Las líneas que presentaron mejores efectos de ACG para la característica de rendimiento son: la 6, 12 y 5; en cuanto a floración, los que originaron materiales precoces tanto para floración masculina como femenina dada su similitud fueron las líneas 7, 6 y 12.
3. La mejor cruza tomando en cuenta los cinco caracteres evaluados fue la 7 x 10 que produce un material con buen rendimiento, precoz y a la vez de poca altura.
4. De acuerdo a los resultados obtenidos, se considera una adecuada estrategia de mejoramiento para la población un programa de selección recíproca recurrente donde se puedan explotar tanto los efectos aditivos como los no aditivos.

LITERATURA CITADA

- Alfaro J., Y. J. 1991. Estudio genético de caracteres fisiotécnicos en líneas y cruza simples de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Posgraduados. Chapingo, México.
- Brauer, H. O. 1969. Fitogenética aplicada. 1er. Edición. Editorial Limusa. México, D.F.
- Chávez, A. J. L. Y López P.E. 1990. Apuntes de Mejoramiento de Plantas II. U.A.A.A.N., Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. p. 99 –104.
- Cockerham, C. 1963. Estimation of genetic variances **In**: Hanson, W. D. and H. F. Robinson (eds). Statiscal genetics and plant breeding. Publ. 82. Nat'l. Acad. Sci. – Nat's. Res. Council. Washinton, D.C, USA. p. 53 –93.
- Comstock, R. E. and H. F. Robinson. 1948. The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics*. 4: 254 – 266. U. S. A.
- Comstock, R. E. And H. F. Robinson. 1952. Estimation of average dominance of genes . **In** heterosis, Iowa State College Press. USA. Pp. 494 – 516.
- Cordova, H. R. and H. R. Mickelson. 1995. CIMMYT Maize program intenally managed external review of breeding strategies and methodologies. El Batán, México. 6 P.
- De León, H., Ramírez, E., Martínez, G., Oyervides A. De la Rosa, A. 1999. Evaluación de diversos patrones heteróticos en la formación de híbridos de maíz para el bajo mexicano. *Agronomía Mesoamericana*. 10 (1): 31 – 35 p.

- Falconer, D. S. 1970. Introducción a la genética cuantitativa. Editorial CECSA. México.
- Franco, D. J. E. 1979. Experimentos de Griffing para cruzas dialélicas en bloques incompletos balanceados. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 80p.
- Griffing, B. 1956a. A generalized treatment use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity*. 10:31 – 50.
- Griffing, B. 1956b. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Austr. Jour. Biol. Sc.* 9:463 – 493. Australia.
- Hallauer, A. R. and B. J. Miranda. 1981. Quantitative genetics in maize breeding. First edition. Iowa State University Press. USA. 467 p.
- Hallauer, A. R. 1993. Maize breeding proceeding of the fifth ASIAN Regional maize workshop. 5: 160 – 178.
- Hallauer, A. R. and J. B. Miranda. 1988. Quantitative genetics in maize breeding. 2a. ed Iowa State University Press, Ames, Iowa. USA. P. 45 – 61.
- Jugenheimer, R.W. 1981. Maíz, variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Ed. Limusa, S.A. México. p. 132.
- Kambal, A. E., and O. J. Webster. 1965. Estimates of general and specific combining ability in grain sorghum. *Crop. Sci.* 5: 521-523.

- Kempthorne, o. and R.N. Curnow. 1961. The partial diallel cross. *Biometrics*. 17:229 – 250.
- Lamkey, R. L., B. Schnicker and T. Gocken. 1993. Choice of source population for inbred corn development. *Proc. Annu. Corn and Sorghum. Ind. Res. Conf.* 48: 91 – 103.
- Márquez S., f. 1985. *Genotecnia Vegetal. Métodos, teoría y resultados. Tomo I*, AGT editor, S.A. México, D.F. 500p.
- Márquez, S. F. 1988. *Genotecnia Vegetal. Tomo II*. A.G.T. editor, S.A. México. pp. 1 – 343.
- Mayo, O. 1987. *The theory of plant breeding. 2ª. Edición*. Claredon Press Oxford. USA. p. 42 – 49.
- Oyervides, G., M. 1979. *Estimación de parámetros genéticos, heterosis e índices de selección de variedades tropicales de maíz adaptadas a Nayarit. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.*
- Poehlman, M. J. 1974. *Mejoramiento genético de las cosechas. 1ª. Ed.* LIMUSA. México. 453 p.
- Poehlman, M. J. 1983. *Mejoramiento genético de las cosechas. 1ª. Ed.* Editorial Limusa, S.A. México.
- Robles, S. R. 1986. *Genética elemental y Fitomejoramiento práctico. Primera edición*, Editorial Limusa. México.

Rojas, B. and G. F. Sprague. 1952. A comparicson of variance components in corn yield trials. III. Genral and especific combining ability and their interaction with locations and years. Agron. Journal. 44: 462 – 466.

Sprague, G. F. and L. A. Tatum. 1942. General vs Specific combining ability in single crosses of corn. J. Am. Soc.Agron. 34: 923 – 932.

_____ 1943. General vs specific comninig ability in single croses of corn. J. A. Soc. Agron. 34: 923 – 932.

Stuber, C. W.; R. H. Moll and W. D. Hanson. 1966. Genetics variances and interrelationships of six traits in a hybrid population of Zua mays L. Crop. Sci. 9 : 455 - 459.

Vasal, S. K. 1987. Heterosis y aptitud combinatoria en germoplasma tropical de CIMMYT. Boletín. El Batán, Texcoco, edo, de México.

_____, G. Srinivasa, G. Han., and F. Gonzáles. 1992. Heterotic patterns of eighty-eight white subtropical CIMMYT maize lines. Maydica. 37: 259 – 270. U. S. A.

_____,F. Gonzáles., N. Vergara., y G. Srinivasan. 1993. Comportamiento de híbridos intra e inter poblaciones entre líneas endocridas e implicaciones de estos resultados en el desarrollo de líneas de maíz. Agronomía Mesoamericana. 4 : 1 – 6.

Williams, W. 1965. Principios de genética y mejora de las plantas. Editorial ACRIBIA, Zaragoza, España. p 370 - 379.

