

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**

**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**



**Estimación de parámetros genéticos en dos grupos germoplásmicos de maíz, bajo el método IV de Griffing**

**Por:**

**JORGE LUIS CADENAS TEPOXTECO**

**TESIS**

**Presentada como Requisito Parcial para obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

**Buenvista, Saltillo, Coahuila.**

**Mayo 2004**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**

**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

**Estimación de parámetros genéticos de dos grupos germoplásmicos de maíz, bajo el método IV de Griffing**

**Por:**

**Jorge Luis Cadenas Tepoxteco**

**TESIS**

Supervisada y aprobada por el comité particular de tesis para obtener el título de:

Ingeniero Agrónomo en Producción

---

M.C. Humberto de León Castillo.  
Asesor principal

Asesores:

---

Ph. Dr. José Espinosa Velásquez.

---

M.C. Ma., Cristina Vega Sánchez.

---

Ing. Carlos Rojas Peña.  
Asesor suplente

---

M.C. Arnoldo Oyervides García.  
**Coordinador de la División de Agronomía**

## AGRADECIMIENTOS

A mi “ALMA TERRA MATER” Gracias a la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” por abrirme sus puertas, siendo como una segunda madre que crea sus hijos brindando toda clase de apoyo para acrecentar y fijar los conocimientos en cada uno de nosotros.

Al Ing., M.C. Humberto de León Castillo., mis más profundos y sinceros agradecimientos, por brindarme la oportunidad de realizar esta valiosa investigación, por su acertada asesoría en este trabajo, por la virtud de humildad y apoyo que siempre me demostró, y por los valiosos conocimientos aportados en mi formación como profesionista.

AL Dr. José Espinosa Velásquez por sus aportaciones y sugerencias en mejorar este trabajo de tesis.

A la M.C. Ma., Cristina Vega Sánchez por su valiosa revisión de este trabajo

Al Ing. Carlos Rojas Peña. Porque sin obtener nada a cambio, usted siempre me brindo el mayor apoyo incondicional, le deseo lo mejor.

Al Ing. Daniel Sámano Garduño. Por la disponibilidad y aportaciones en la discusión de este trabajo de investigación, por tu apoyo y paciencia en las enseñanzas en mi formación como profesionista, pero sobre todo gracias por tu valiosa amistad.

A la Lic. Sandra López Betancourt: por el apoyo constante en la estructuración de este trabajo.

A todos mis amigos, por los momentos felices que pasamos.

Dr. Alfredo De La Rosa L, M.C. Eduardo Musito R., M.C. Noe Musito R., M.C. Silverio Hernández S., M.C. Bernardo Romero R., Ing. Cirilo Hernández., Nelson Alonso R., Ing. Felipe Cadenas C., Ing. Omar Coyote O., Ing. Octavio Sandoval P., Ing. Araceli Sandoval P., Ing. Edgar Quintero C., Ing. Angélica Cadenas V., Ing. Víctor Manuel Barrios S., Ing. José Jaime Elizarraras C., Ing. Manuel Trinidad C., Ing. Hilario Barreto G., Ing. Eduardo Coyote V., Gerardo Layzón C., Octavio Barreto G., Juan Pedro Cadenas V., Alfredo Cadenas V., José Alejandro Barrios S., Manolo Silvestre M., Eusebio Ramos del A., Gonzalo Pineda V., Juan Medina G., Alejandro Arellano R., Benjamín Palma R., Celestino Pliego G., Arturo Tenango P., Agustín Zavala C., Oscar Suárez M., Mario Elizarraras C., Gregorio Musito R., Fernando J. Pliego. H., Cirilo Cahuare R., Luis Alberto Morales S.

## DEDICATORIAS

A dios por darme la oportunidad de culminar esta importante meta de mi vida.

### A MIS PADRES

Jorge Cadenas Cartujano †

Reina Tepoxteco Coria

Que siempre demostraron ese amor de padres que hoy tiene sus frutos, “te quiero viejita”  
pues eres mi inspiración.

### A mis Hermanos:

Maura  
Amada †  
María  
Elena  
Teresa  
Eleazar  
Julia

Félix  
Claudio  
Severiano

En especial a mis hermanas: Maura, Eleazar y Teresa, por el interés y apoyo que siempre me brindaron.

A mis 24 sobrinos y los que vienen.

### A mis cuñados y cuñadas.

Luis Quintero  
Augusto †  
Raúl  
Manuel  
Eulalio  
Luis

Ramona  
Adelaida  
Rocío

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> -----	vii
<b>INTRODUCCIÓN</b> -----	1
Objetivos -----	2
Hipótesis-----	2
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> -----	3
Heterosis y patrones heteróticos-----	3
Aptitud combinatoria-----	4
Diseños genéticos-----	5
Heredabilidad-----	8
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> -----	10
Material genético-----	10
Metodología -----	11
Localidades de evaluación-----	11
Labores culturales-----	12
Toma de datos-----	14
Ajustes por covarianza-----	16

Diseño genético-----	17
Modelo estadístico-----	17
Formulas para estimar efectos en ACG y ACE aplicables al diseño IV de Griffing-----	19
Estimación de varianzas y error estándar-----	20
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> -----	22
<b>CONCLUSIONES</b> -----	36
<b>RESUMEN</b> -----	37
<b>LITERATURA CITADA</b> -----	39

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
3.1	Líneas progenitoras que forman los dos grupos heteróticos-----	10
3.2	Características de las tres localidades experimentales-----	12
3.3	Fechas de siembra para las tres localidades experimentales en ambos grupos heteróticos-----	12
3.4	Estructura del análisis combinado correspondiente al diseño IV de Griffing (1956)-----	18
4.1	Cuadrados medios de varianza en análisis que combina datos de las tres localidades (Celaya, Gto.; General Cepeda Coah.; y La Piedad, Mich.) Población Enana.-----	23
4.2	Cuadrados medios del análisis de varianza combinado a través de las tres localidades (Celaya, Gto.; General Cepeda Coah.; y La Piedad, Mich.) correspondiente a la población Exótica-----	26
4.3	ACG para líneas progenitoras a través de las tres localidades, población Enana-----	28
4.4	ACG para líneas progenitoras a través de tres localidades, población Exótica-----	29

4.5	Efectos de ACE para las características evaluadas bajo un análisis combinado a través de las tres localidades, correspondientes a la población de maíz Enana-----	31
4.6	Efectos de ACE para las características evaluadas bajo un análisis combinado a través de las tres localidades, correspondientes a la población Exótica-----	32
4.7	Medias de rendimiento y estimaciones de la heterosis en porciento, para cada cruza simple de la población Enana-----	34
4.8	Medias de rendimiento y estimaciones de la heterosis en porciento, para cada cruza simple de la población Exótica-----	35

## I. INTRODUCCIÓN

En el Instituto Mexicano del Maíz “Dr Mario E. Castro Gil” se tienen identificado desde el 2002 un potencial patrón heterótico, formado por la complementariedad entre dos grupos de maíz con adaptación a la región del Bajío Mexicano, uno es denominado Maíz enano y otro Maíz Exótico.

Con la intención de identificar una eficiente alternativa para mejorar la información genética de ambos grupos germoplásmicos, que permita magnificar la expresión de este particular patrón heterótico; en este estudio se pretende estimar los tipos de acción génica que gobiernan las características de rendimiento, precocidad y altura de planta en ambas poblaciones y así tener la opción de predecir que estrategia de mejoramiento sería la más recomendada para obtener los mayores resultados en el plazo inmediato.

Empleando para ello el diseño IV de Griffing (1956) por ser una de las metodologías más usadas para calcular los componentes de la varianza genética así como para estimar los efectos de aptitud combinatoria general de los progenitores y la aptitud combinatoria específica de los cruzamientos.

Con la idea de tener una mayor precisión en la estimación de los efectos y de las varianzas genéticas, ambientales y de la interacción, los dialélicos de ambos grupos heteróticos se evaluaron en tres ambientes de la región agroecológica del Bajío. Persiguen los siguientes:

### **Objetivos**

- Estimar las varianzas aditivas, dominancia y heredabilidad de cuatro características agronómicas, para elegir la estrategia de mejoramiento genético más eficiente en cada grupo heterótico.
- Determinar la aptitud combinatoria general de los progenitores y la aptitud combinatoria específica de las cruzas dentro de cada grupo.
- Seleccionar las mejores cruzas simples experimentales.

### **Hipótesis**

- De las estrategias de mejoramiento utilizadas, una se ajustará con mayor eficiencia para explotar los efectos genéticos de cada característica.
- El efecto de aptitud combinatoria general o específica de al menos de uno de los materiales será diferente de cero.
- Entre las cruzas experimentales se detectará al menos una con potencial aceptable.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### Heterosis y patrones heteróticos

Shull (1908) fue quien utilizó el término de heterosis basado en el concepto de heterocigosis y lo definió en 1914, como el incremento en vigor, tamaño, fructificación, velocidad de desarrollo, resistencia a plagas y enfermedades, resistencia a regiones climáticas de cualquier clase, manifestado por los organismos cruzados (progenie) al compararse con los organismos endogámicos correspondientes (paternas), como resultado de la diferencia en la constitución de los gametos paternos.

En su glosario, Robles (1987) para evaluar la heterosis se cuantifica en porcentaje considerando la relación entre la F1 con el promedio de sus progenies, de acuerdo a la fórmula siguiente.

$$H_1 = \frac{F_1 - \left(\frac{P_1 + P_2}{2}\right)}{\left(\frac{P_1 + P_2}{2}\right)}$$

Donde:  $H_1$ = Heterosis,  $F_1$ = Valor cuantitativo de la progenie  $F_1$  (Híbridos simples);  $P_1$ = Valor del primer progenitor;  $P_2$ = Valor del segundo progenitor.

El tener germoplasma de maíz tolerante a la endogamia y la clasificación del mismo en grupos; permite la identificación de patrones heteróticos, los cuales son aquellos cruzamientos que muestran una alta heterosis; el termino patrón heterótico es usado para referirse a un cruzamiento específico entre un par de grupos heteróticos, con la finalidad de desarrollar excelentes híbridos en el menor tiempo posible (Vasal *et al*; 1988, Melchinger y Gumber; 1998, De León *et al*; 1999).

Mickelson *et al.* (1995) mencionan que algunos de los patrones heteróticos en maíz más comúnmente utilizados son Tuxpeño y ETO en la región subtropical de México y América del Sur; Reid Yellow Dent y Lancaster Sure Crop en climas templados de los Estados Unidos de América; Salisbury White y Southem Cross en localidades de África; y AED (dentado precoz americano) y Tep-5 (Tepalcingo 5) en Egipto.

### **Aptitud Combinatoria**

Inicialmente la aptitud combinatoria fue un concepto general, utilizado para la clasificación de una línea en relación con su comportamiento en cruzas; 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 de una cruza (Castillo, 1994).

Generalmente el termino aptitud combinatoria (AC) significa la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, dicha capacidad es medida

a través de su progenie. Sin embargo, para que la AC tenga sentido en el contexto genotécnico debe de determinarse no en un solo individuo de la población sino en varios, a fin de poder realizar selección de aquellos que exhiban la más alta (Márquez, 1991).

Sprague y Tatum (1942; citados por Márquez, 1991) definieron la aptitud combinatoria general (ACG) como el comportamiento promedio de una línea en combinaciones híbridas, y la aptitud combinatoria específica (ACE) como casos en los cuales ciertas combinaciones lo hacen mejor (o peor) de lo que podía esperarse basándose en el comportamiento promedio de las líneas involucradas es, decir, la ACE es el rendimiento relativo de cada cruce específica.

También Márquez (1988) señala que al determinar los efectos de ACG y ACE de líneas puras, lo que es determinado son los gametos producidos, debido a que las líneas son homocigotas; sin embargo, con líneas que no son puras (es el promedio resultante de la línea en combinaciones híbridas), y esto se debe a que cada progenitor se puede considerar como una mezcla de líneas, existiendo variabilidad de gametos producidos.

### **Diseños Genéticos**

El termino también se conoce 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 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, tres 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 factor ya que hubo control sobre un solo progenitor.

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, se trata de incluir la estimación de varianza epistática, se debe ocupar un diseño de tres factores o todavía más complejo (Dudley y Moll, 1969).

Griffing (1956) abordó los conceptos y la teoría estadística relacionada con diseños dialélicos, y consideró la inclusión o ausencia de autofecundaciones entre progenitores y las cruzas recíprocas de la  $F_1$ , y los clasificó en cuatro métodos:

1. Participan todas las cruzas posibles. Comprende las autofecundaciones, cruzas directas  $F_1$  y cruzas recíprocas  $F_1$ . En el diseño habrán  $p^2$  familias, donde  $p$  es el número de progenitores.

2. Incluye sólo autofecundaciones y cruzas directas  $F_1$ . Esto, se tendrá  $p(p+1)/2$  familias.
3. Comprende cruzas directas y recíprocas  $F_1$ . Se tendría  $p(p-1)$  familias.
- 4.- Sólo participan las cruzas directas  $F_1$ . Habrá  $p(p-1)/2$  familias.

Los diseños dialélicos 1 y 3 de Griffing (1956) se usan para estudiar efectos maternos ya que incluyen las cruzas directas y recíprocas entre las  $p$  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.

Según Vasal (1986) la información que se obtiene de los cruzamientos dialélicos puede ser utilizada: a) Como base en la identificación de materiales específicos que combinen bien para la formación de híbridos convencionales y no convencionales, b) Y agrupar el germoplasma de maíz, el cual facilita la formación de grupos heteróticos, para futuro mejoramiento interpoblacional.

Las cruzas dialélicas generadas por cualquiera de los métodos señalados se evalúan con repeticiones y apropiada aleatorización de las cruzas, para determinar el potencial de progenitores en las cruzas. Si 10 ó 12 progenitores son incluidos en el dialélico, un diseño experimental de bloques completos al azar podría ser satisfactorio en la mayoría de los casos. Un diseño de bloques incompletos puede ser el apropiado si el número de cruzas es mayor y la variación ambiental entre unidades experimentales es

grande. Si se asume que solamente las cruizas entre los progenitores se prueban en un ambiente, el análisis de varianza inicial para determinar que la variación entre cruizas es significativamente diferente de cero, es válida una subdivisión ortogonal de la suma de cuadrados para cruizas, si no existe diferencia significante, no hay necesidad de proceder a lo siguiente porque aparentemente los progenitores no contribuyeron a ninguna diferencia detectable en su progenie (Hallauer y Miranda, 1988).

### **Heredabilidad**

La heredabilidad de un carácter, es un parámetro que expresa la proporción de la varianza total que es atribuible al efecto promedio de los genes que en él participan y determina en parte el grado del parecido entre parientes (Lush, 1940). La función más importante de la heredabilidad en el estudio genético de los caracteres métricos, es la de expresar la confiabilidad del valor fenotípico de un individuo, lo que determina su influencia en la siguiente generación.

En otras palabras, al escoger algunos individuos como progenitores, por sus valores fenotípicos, el éxito en cambiar las características de la población puede predecirse únicamente a partir del grado de correspondencia, entre los valores fenotípicos y los reproductivos (Becker, 1986; Falconer, 1983; Namkoong, 1979).

Robles (1986) menciona que conocer la heredabilidad es de suma importancia, porque es una buena indicación que la selección de los individuos para producir la próxima generación, resultará en descendientes con fenotipos similares. Además, la heredabilidad sirve para decidir la metodología del mejoramiento 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 este modo:

$V_A/V_D < 1$ ; hacer hibridación.

$V_A/V_D > 1$ ; hacer selección.

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

La heredabilidad (como tal) se estima a través de la suma de los efectos de genes aditivos que el progenitor hereda a su descendencia; en este caso se consideran únicamente los efectos de acción génica aditiva, y la estimación se obtiene por medio de la siguiente fórmula:  $h^2 = V_A / V_P$

No existe una escala definida para clasificar su magnitud, pero arbitrariamente se puede considerar heredabilidad baja, media o alta; algunos autores la delimitan como sigue: cuando el cociente va de 0 a 0.3 es baja; media de 0.3 a 0.7 y alta de 0.7 a 1. (Robles, 1986). Por su parte Chávez (1995) y Flores (2001) señalan que la heredabilidad estimada puede ser cualquier fracción de cero a uno. No estando bien definido lo que se entiende por alta o baja heredabilidad, pero en general son aceptables los siguientes valores: alta heredabilidad (mayor de 0.5), heredabilidad media (de 0.2 a 0.5) y baja heredabilidad (menor de 0.2). De cualquier modo, el concepto de  $h^2$  es biológicamente transitoria ya que en sentido estricto, es un parámetro temporal y aplicable sólo al carácter y a la población en que se calcula, en ese momento generacional.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### Material genético

Este trabajo se realizó utilizando los grupos de líneas Enano y Exótico, del primero se eligieron ocho líneas de buen comportamiento agronómico y del grupo exótico siete. Las genealogías de las líneas de cada grupo se muestran en el Cuadro 3.1.

Cuadro3.1. Líneas progenitoras que forman los dos grupos heteróticos.

Grupo	Genealogía	Grupo	Genealogía
Enano	MLS4-1	Exótico	E-75
Enano	255-18-19-60-A-A	Exótico	E-174
Enano	LBCPC4S4	Exótico	E-195
Enano	PE-202-1	Exótico	E-94
Enano	PE-212-1	Exótico	E-103
Enano	PE-114-2	Exótico	E-197
Enano	PE-112-7	Exótico	E-82
Enano	PE-114-3		

- 1. Grupo de Maíz Enano:** líneas derivadas de una población con plantas braquíticas que soportan altas densidades de siembra. Responden positivamente a la aplicación de insumos y muestran plasticidad de adaptación en combinaciones híbridas. Tienen madurez diversa por lo que se puede encontrar líneas precoces a intermedias, entrenudos cortos debajo de la mazorca, tendencia a la prolificidad, hojas breves, erectas, y espigas compactas.

- 2. Grupo Exótico:** Son líneas derivadas de una población, con más de cuatro generaciones de autofecundaciones, constituidas mediante la recombinación de híbridos comerciales y adaptadas al bajío a las que previamente se les seleccionó por poseer altos efectos de aptitud combinatoria general.

### **Metodología**

Los cruzamientos dialélicos fueron formados en la localidad de Tepalcingo, Morelos en el ciclo otoño-invierno del 2001-2002 aplicando el diseño IV de los propuestos por Griffing (1956); las 28 cruzas simples del grupo enano y las 21 del grupo exótico fueron evaluadas durante el ciclo P-V 2002 en tres localidades representativas de la región del Bajío Mexicano, bajo un diseño de siembra de bloques incompletos al azar con dos repeticiones.

### **Localidades de evaluación**

Por fecha de siembra las primeras dos fueron Celaya, Guanajuato y La Piedad, Michoacán ambas presentan condiciones climáticas y edáficas favorables para el cultivo; la tercera fue en el municipio de General Cepeda, Coahuila, donde las condiciones edáficas y la disponibilidad de agua tiene muchas limitantes, además de estar muy alejada geográficamente de las primeras dos localidades. Una descripción mas puntual de las mismas se presenta enseguida.

Cuadro 3.2. Características de las tres localidades experimentales.

<b>Localidad</b>	<b>Latitud Norte</b>	<b>Longitud Oeste</b>	<b>Asnm</b>	<b>Temperatura media anual</b>	<b>Precipitación media anual</b>
<b>Celaya</b>	20°32'	100°49'	1,754	20.6°C	597 mm
<b>La Piedad</b>	20°21'	102°02'	1,680	17 °C	700 mm
<b>General Cepeda</b>	25°22'	101°28'	1,460	19°C	350 mm

### **Labores culturales**

Estas actividades fueron efectuadas en el momento oportuno, iniciando con el barbecho, seguido de la rastra para mantener una buena estructura del suelo, para luego surcar, y trazar las parcelas experimentales, las cuales fueron de un surco.

Siembra: La fecha de siembra por localidad se presenta en el (Cuadro 3.3), utilizando un arreglo estadístico de bloques al azar, dos repeticiones por localidad.

Cuadro3.3. Fechas de siembra en las tres localidades experimentales en ambos grupos heteróticos.

<b>Localidad</b>	<b>fecha</b>
Celaya	07/05/2002
La Piedad	12/05/2002
General Cépeda	19/05/2002

La parcela experimental fue de un surco con las dimensiones de 3.8 m de longitud por 0.75 m de ancho; obteniendo un área o parcela útil de 2.85 m<sup>2</sup>, con sus respectivas 21 plantas por surco. Las parcelas fueron sembradas manualmente con estacas de madera; depositando dos semillas por golpe para después aclarar a una planta por mata, con la finalidad de asegurar el número de plantas por parcela experimental.

Fertilización: La fórmula aplicada de N-P-K en las tres localidades fue 180-90-00, dividiéndola en dos partes; la primera durante la siembra, aplicando (90-90-00); es decir depositando el 50% del nitrógeno N y el 100% de fósforo P, quedándonos el otro 50% del nitrógeno N (90-00-00) para aplicarse en la primera cultivada.

Riegos: Los riegos efectuados fueron variables ya que estuvieron sujetos a la precipitación pluvial de cada región, el común fue al momento de la siembra para asegurar la germinación y emergencia de plántulas.

Control de malezas: Para controlar las malezas se utilizó un herbicida preemergente de nombre comercial primagram que se aplicó después del riego de emergencia, debido a que el producto actúa con humedad disponible en el suelo; la dosis aplicada fue a razón de cuatro litros por ha.

Cosecha: Este proceso consistió en pizar todas las parcelas experimentales, cabe mencionar que una parcela experimental es igual a un surco, cosechado de manera tradicional debido a que se tiene que calificar el aspecto de mazorca, colocando las del lado derecho en el surco y en grupos de diez; para obtener los datos referentes a; número de mazorcas por parcela, cuantificar daños por plagas, pudriciones, y llenado de grano, utilizando un rango de 1 a 5 donde uno es el mejor y cinco el peor. Posteriormente, las mazorcas se pesaron y de ellas se desgrano una muestra representativa para tomar el contenido de humedad, esto por cada parcela experimental.

## **Toma de Datos**

Generalmente la toma de datos se lleva a cabo en todas las parcelas experimentales en diferentes etapas fenológicas del cultivo. Las características agronómicas de mayor interés en el programa de mejoramiento se describen como sigue:

Días a floración masculina (DFM). Corresponde al número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas se encuentren en anthesis (emisión de polen).

Días a floración femenina (DFF). Es el número de días transcurridos desde la siembra hasta que un poco mas del 50% de las plantas de cada parcela, presenten estigmas receptivos.

Altura de planta (AP). La longitud se midió en centímetros, tomando como referencia la base del tallo hasta la base de la hoja bandera.

Altura de mazorca (AM). Se tomó en centímetros que va desde el nivel del suelo hasta el primer nudo de inserción de la mazorca principal.

Acame de raíz (AR). Se toma en cuenta el número de plantas con inclinación de 30° o más a partir de la perpendicular en la base de la planta, donde comienza la zona radicular, posteriormente se determina el porcentaje con respecto al número total de plantas por parcela.

Acame de tallo (AT). Se basa en el número de plantas presentes con tallos quebradas por debajo de la inserción de la mazorca principal, con relación al total de plantas en la parcela útil. Expresada en porcentaje.

Aspecto de plantas (ASP). Poco después de la floración se califican las plantas de cada parcela tomando en cuenta sus características, tales como: uniformidad, posición de la mazorca, enfermedades, daño por insectos, calidad de tallo, etc. Para ello se utilizó una escala del uno al cinco, donde uno es lo mejor y cinco lo peor.

Aspectos de mazorca (ASM). Se califica el grupo de mazorcas de cada una de las parcelas tomando en cuenta características, tales como; uniformidad y tamaño de las mazorcas, daño causado por plagas y enfermedades, llenado de grano, usando una escala de uno a cinco, donde 1 es lo óptimo y 5 en lo peor.

Cobertura de mazorca (CM). Del número total de mazorcas en la parcela útil; se cuantifica el porcentaje de mazorcas que no fueron cubiertas totalmente por las brácteas (totomoxtle).

Por ciento de humedad del grano (CH%). Obtenido de una muestra aleatoria de aproximadamente 100 g. de las mazorcas en cada parcela a la cosecha, posteriormente se coloca en el determinador de humedad portátil marca “Dickey John”.

Peso de las mazorcas en campo (PMC). Se reporta en kg de mazorcas por parcela al momento de la cosecha. El peso seco se estimó realizando la multiplicación del por ciento de materia seca por el peso de campo.

Rendimiento (REND). El rendimiento en mazorca se obtuvo al multiplicar el peso seco por el factor de conversión (FC) a ton ha<sup>-1</sup>.

$$FC = \frac{10,000m^2}{APU \times 0.845 \times 1000}$$

Donde:

FC = Factor de conversión a ton ha<sup>-1</sup> al 15.5 % de humedad

APU = Área 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.

1000 = Coeficiente para obtener el rendimiento en ton ha<sup>-1</sup>.

10,000 m<sup>2</sup> = Superficie equivalente a una hectárea.

### **Ajustes por covarianza**

Este ajuste se aplica debido a que las parcelas pueden variar en cuanto al número de plantas. Una vez que se constata el efecto significativo referente al coeficiente de regresión (b<sub>1</sub>) se ajustó el rendimiento aplicando la siguiente fórmula.

$$\hat{Y}_{ij} = Y_{ij} - b_i(x - \bar{x})$$

donde:

$\hat{Y}_{ij}$  = rendimiento corregido por covarianza;  $Y_{ij}$  =rendimiento observado en cada parcela;  
 $b_i$  = coeficiente de regresión obtenida del análisis de covarianza;  $x$  = número de plantas cosechadas en cada parcela;  $\bar{x}$  = promedio de plantas cosechadas en el experimento.

### **Diseño genético**

Las cruzas dialélicas fueron analizadas de manera combinada a través de localidades bajo el método IV de Griffing. Empleando para ello el programa estadístico elaborado en lenguaje SAS reportado por Shang y Kang (2003).

### **Modelo estadístico:**

$$Y_{ijkl} = \mu + l_i + \beta_{j(i)} + g_k + g_l + s_{kl} + lg_{ik} + lg_{il} + ls_{ikl} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

$Y_{ijkl}$  = Variable de respuesta.

$\mu$  =efecto de la media general.

$l_i$  = Efecto de la  $i$  - ésima localidad.

$\beta_{j(i)}$  = efecto de  $j$  - ésimo bloque dentro de la  $i$  – ésima localidad.

$g_k$  = efecto de la aptitud combinatoria general del padre  $k$ .

$g_l$  = efecto de la aptitud combinatoria general del padre  $l$ .

$s_{kl}$  = efecto de la aptitud combinatoria específica de los padres  $k$  y  $l$ .

$lg_{ik}$  = efecto de la interacción entre la  $i$  – ésima localidad y la aptitud combinatoria general del padre  $k$ .

$lg_{il}$  = efecto de la interacción entre la  $i$  – ésima localidad y la aptitud combinatoria general del padre  $l$ .

$ls_{ikl}$  = efecto de la interacción entre la  $i$  – ésima localidad y la aptitud combinatoria específica de los padres  $k$  y  $l$ .

$\varepsilon_{ijkl}$  = Error experimental.

En el Cuadro 3.4 se presenta la estructura del análisis de varianza correspondiente al diseño IV de Griffing.

### Análisis Dialélico

Cuadro.3.4. Estructura del análisis combinado correspondiente al diseño IV de Griffing (1956).

Efecto	g.l	CM	ECM
<b>Loc</b>	$l-1$		
Rep/Loc	$r(l-1)$		
<b>Cruzas</b>	$n-1$		
ACG	$p-1$	M6	$\sigma_e^2 + r\sigma_{IACE}^2 + r(p-2)\sigma_{IACG}^2 + r/l\sigma_{2ACE}^2 + r/(p-2)\sigma_{ACG}^2$
ACE	$[p(p-3)]/2$	M5	$\sigma_e^2 + r\sigma_{IACE}^2 + r/l\sigma_{ACE}^2$
<b>Cruz x Loc</b>	$(n-1)(l-1)$		
ACG x Loc	$(p-1)(l-1)$	M3	$\sigma_e^2 + r\sigma_{IACE}^2 + r(p-2)\sigma_{IACG}^2$
ACE x Loc	$\{[p(p-3)/2]\}(l-1)$	M2	$\sigma_e^2 + r\sigma_{2ACE}^2$
<b>Error</b>	$\{[p(p-1)/2]-1\}(r-1)$	M1	$\sigma_e^2$
<b>Total</b>	$[rp(p-1)/2]-1$		

## Fórmulas para estimar efectos en ACG y ACE aplicables al diseño IV de Griffing

- Estimación para ACG:

$$\hat{g}_i = \{1/[p(p - 2)]\} (pX_i - 2X_{..})$$

- Estimación para ACE:

$$\hat{s}_{ij} = X_{ij} - [1/(p - 2)] (X_i + X_j) + \{2/[(p-1)(p-2)]\} X_{..}$$

Donde:

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

$\hat{s}_{ij}$  = Aptitud combinatoria específica (ACE) de la cruce 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 la cruce.

$X_{..}$  = Gran total.

Fórmulas descritas por Hallauer y Miranda, por las cuales se pueden estimar los parámetros genéticos; esto se obtiene mediante la aplicación del método IV de Griffing en cruces simples, considerando que el coeficiente de endogamia fuera  $F = 1$

Si  $\mathbf{F} = \mathbf{1}$ , varianza aditiva,  $\sigma^2_A = 2\sigma^2_{ACG}$  y la varianza de dominancia,  $\sigma^2_D = \sigma^2_{ACE}$ ; de este modo, la heredabilidad,  $h^2$ , es calculada como sigue:

$$h^2 = \sigma^2_A / (CM_{cruzas} / rl)$$

### Estimación de varianzas y errores estándar

Cuadrados medios estimados mediante el diseño IV de Griffing.

A partir de los componentes de varianza estimados se calcularon los valores porcentuales de heredabilidad en sentido estricto ( $h^2$ ) para el carácter a evaluar, utilizando las fórmulas siguientes:

Varianza de la varianza de ACG.

$$V(\sigma^2_{ACG}) = \frac{2}{[lr(p-2)]^2} \left[ \frac{M_6^2}{glM_6 + 2} + \frac{M_5^2}{glM_5 + 2} + \frac{M_3^2}{glM_3 + 2} + \frac{M_2^2}{glM_2 + 2} \right]$$

Varianza de la varianza de ACE.  $V(\sigma^2_{ACE}) = \frac{2}{(lr)^2} \left[ \frac{M_5^2}{glM_5 + 2} + \frac{M_2^2}{glM_2 + 2} \right]$

Varianza de la varianza aditiva:  $V(\sigma^2_A) = 4V(\sigma^2_{ACG})$

Varianza de la varianza de dominancia:  $V(\sigma^2_D) = 4V(\sigma^2_{ACE})$

Error estándar para la varianza de ACG:  $\sqrt{V(\sigma^2_{ACG})}$

Error para la varianza de ACE:  $\sqrt{V(\sigma^2_{ACE})}$

Error estándar para la varianza aditiva:  $\sqrt{V(\sigma^2_A)}$  ó  $2\sqrt{V(\sigma^2_{ACG})}$

Error estándar para la varianza de dominancia:  $\sqrt{V(\sigma^2_D)}$  ó  $\sqrt{V(\sigma^2_{ACE})}$

Error estándar para la heredabilidad:  $EE (h^2) = EE \sigma_A^2 / \sigma_F^2$

Donde:

$\sigma_A^2$  = es la varianza aditiva.

$\sigma_F^2$  = es la varianza fenotípica o total.

Además, para asegurar un rango de confiabilidad en el experimento, se calculó el coeficiente de variación (CV), correspondiente a los datos en el análisis de varianza, mediante la aplicación de la siguiente fórmula.

$$CV = (\sqrt{CM_{EE} / \bar{X}})(100)$$

Donde:

CV = Coeficiente de variación.

$CM_{EE}$  = Cuadrado medio del error experimental.

$\bar{X}$  = Media general.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Análisis de Varianza**

Los tipos de acción génica presumibles para las características rendimiento (REN), días a floración macho (DFM), días a floración hembra (DFF) y altura de planta (AP), en cada uno de los grupos de líneas bajo estudio, se estimaron mediante un análisis de varianza (ANVA) combinado de las tres localidades.

Los cuadrados medios resultantes de este ANVA, relativo al grupo Enano se presentan en el Cuadro 4.1. Donde la fuente de variación localidades presenta diferencias significativas al ( $P < 0.01$ ) para los cuatro caracteres evaluados; esto es un indicio de que el ambiente influye de manera relevante en el comportamiento o reacción del material evaluado bajo condiciones climáticas y edáficas propias de cada ambiente, e indica que al menos uno de ellos con respecto a los otros dos son estadísticamente diferentes, siendo la localidad de General Cepeda la de comportamiento más contrastante.

Cabe señalar que el efecto anidado repeticiones dentro de localidad, no presentaron diferencias significativas; de esto puede inferirse que las condiciones

edáficas son homogéneas en las localidades, es decir, el bloqueo no interviene en la expresión de las características agronómicas analizadas.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios de varianza en análisis que combina datos de las tres localidades (Celaya, Gto.; General Cépeda, Coah.; y La Piedad, Mich.) Población Enana.

FV	gl	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Días a flor macho	Días a flor femenina	Altura de planta (cm)
<b>Localidades</b>	2	600.044**	1145.464**	1184.11**	13296.86**
<b>Repetición(loc)</b>	3	6.321	7.797	5.950	178.671
<b>Cruzas</b>	27	10.372*	5.047	4.175	1038.079**
ACG	7	11.571	10.389	8.681*	1984.612**
ACE	20	9.728	2.854	2.397	685.397**
<b>cruzas x Loc</b>	54	5.748	3.383	2.896	201.674
ACGxLoc	7	5.636	2.335	1.935	134.782
ACExLoc	20	4.042	2.631	1.534	198.489
<b>Error</b>	54	5.864	4.993	3.790	256.518
<b>Media</b>		12.476	78.518	80.496	152.021
<b>C.V. (%)</b>		19.410	2.846	2.418	10.535
<b><math>\sigma^2_A</math></b>		0.014	0.435	0.327	75.718
<b><math>\sigma^2_D</math></b>		0.948	0.037	0.144	81.151
<b><math>h^2</math></b>		0.008	0.543	0.487	0.444
<b>EE<math>\sigma^2_A</math></b>		0.381	0.286	0.238	53.449
<b>EE<math>\sigma^2_D</math></b>		0.529	0.195	0.143	35.858
<b>EE<math>h^2</math></b>		0.224	0.357	0.354	0.314

\*,\*\* niveles de significancia a  $p < 0.05$  y  $p < 0.01$  respectivamente.

El análisis para aptitud combinatoria general presentó diferencias ( $p < 0.05$ ) en el carácter (DFF), y para AP ( $p < 0.01$ ); esto indica, que entre las líneas formadoras del dialélico, se tiene la posibilidad de encontrar al menos una favorable en comportamiento

de ACG, para las características antes mencionadas. En rendimiento lamentablemente no se encontró diferencia en los materiales evaluados, sin embargo, el comportamiento de este carácter en las progenies evaluadas es aceptable; probablemente la no diferenciación estadística se atribuya a la común base genética del material evaluado.

En la ACE existen diferencias en el carácter AP al ( $p < 0.01$ ), en donde se pudiera encontrar una crusa con altura adecuada a los intereses del mejorador; no precisamente una ACE alta, obtendrá mejor respuesta a los caracteres evaluadas; en ocasiones algunas cruas al evaluarse presentan buenas características agronómicas aún en casos con ACE negativa.

La fuente de variación ACG x localidad no presentó diferencias en sus características evaluadas, este comportamiento fue expresado de igual manera en la ACE x localidad. Por lo tanto, éstos efectos denotan estabilidad en las características analizadas.

El coeficiente de variación en todos los casos fue inferior a 20%, permitiendo un razonable rango de confianza en los resultados obtenidos.

Con respecto a los componentes varianzas genéticas de la población Enana, se observa que los efectos no aditivos fueron mayores que la aditiva en cuanto a REN, esto quiere decir que, existe la posibilidad de explotar esta característica aplicando mejoramiento por selección recíproca recurrente o directamente por hibridación; el valor

calculado de heredabilidad para el carácter en esta población es muy baja, prácticamente cero.

La varianza aditiva es superior a la de dominancia en las variables DFM y DFF; esto es un indicador de que todavía se puede mejorar esta población por selección recurrente; con el fin de incrementar la frecuencia de genes que condicionen más precocidad en la población.

En AP la tendencia de los efectos genéticos favorecen a los de dominancia, sin embargo, existe suficiente variación genética del tipo aditivo que pueden tener expectativas de éxito al aplicar mejoramiento poblacional. Y en cuanto a la heredabilidad de este carácter por su estimado se le considera intermedia.

Los resultados del ANVA combinado aplicado a la población Exótica, se resume en el Cuadro 4.2 la fuente de variación localidades presenta diferencias al ( $p < 0.01$ ) en las características REN, DFF y AP, atribuibles a las diferentes condiciones climáticas y edáficas que conforman a cada localidad. Nuevamente es obvio que las localidades de Celaya y La Piedad son similares entre ellas pero contrastan grandemente con la localidad de General Cépeda.

En repeticiones dentro de localidad no se encontraron diferencias significativas en las características analizadas, por consecuencia se puede deducir que las repeticiones

no influyeron en la expresión de los caracteres evaluadas dado las condiciones homogéneas de los bloques.

Cuadro 4.2 Cuadrados medios del análisis de varianza combinado a través de las tres localidades (Celaya, Gto.; General Cépeda, Coah; y La Piedad, Mich.), correspondiente al grupo Exótico.

<b>FV</b>	<b>gl</b>	<b>Rendimiento (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Días a flor macho</b>	<b>Días a flor hembra</b>	<b>Altura de planta (cm)</b>
<b>Localidades</b>	2	461.818**	371.076	412.468**	39381.158**
<b>Repetición(loc)</b>	3	19.248	4.612	7.795	462.166
<b>Cruzas</b>	20	11.525	12.298**	14.946**	779.776**
ACG	6	22.416	23.476**	28.835**	1452.018**
ACE	14	5.799	6.069**	7.081*	496.704*
<b>Cruzas* loc.</b>	40	9.037	3.697*	2.879	351.390
ACGxLoc	6	13.291	3.776	2.692	292.430
ACExLoc	14	4.165	2.564	1.169	426.454*
<b>Error</b>	31	9.338	1.667	2.971	204.581
<b>Media</b>		12.974	79.536	80.577	210.670
<b>C.V. (%)</b>		23.554	1.623	2.139	6.789
$\sigma^2_A$		0.499	1.080	1.349	72.623
$\sigma^2_D$		0.272	0.584	0.985	11.708
$h^2$		0.278	0.574	0.595	0.556
$EE\sigma^2_A$		0.885	0.808	0.980	51.728
$EE\sigma^2_D$		0.421	0.388	0.423	38.576
$EEh^2$		0.492	0.429	0.432	0.396

\*,\*\* niveles de significancia a  $p < 0.05$  y  $p < 0.01$  respectivamente.

Para efectos de aptitud combinatoria general de las líneas exóticas se encontró diferencias ( $p < 0.01$ ) en las variables; DFM, DFF y AP; esto refleja una heterogeneidad en el comportamiento de las líneas permitiendo identificar al menos una que cuente con ACG favorable.

En cuanto a los efectos de ACE, se detectaron diferencias altamente significativas en DFM, significancia para DFF, así como para AP. En estas

características se pueden encontrar combinaciones específicas con adecuado potencial agronómico.

Para la fuente de variación ACG x Localidad de las líneas, no se encontraron diferencias en las características demostrando estabilidad para este efecto.

El efecto de ACE x Localidad presentó diferencias en AP; en las demás características agronómicas se detectó estabilidad de la progenie.

A diferencia de lo encontrado en los parámetros de la población Enana, en el Cuadro 4.2 se puede observar que al separar los componentes de varianza genética: en aditiva y dominancia, correspondientes al grupo Exótico; existe mayor presencia de genes acumulativos del tipo (aditivos) en los cuatro caracteres analizados; lo cual puede significar, que la población cuenta con información génica en ella, que permitirá mejorar sus características, llevando a cabo un programa de mejoramiento bajo el esquema de selección recíproca recurrente. El grado de heredabilidad en este grupo, según Chávez (1995) y Flores (2001) para DFM, DFH y AP es alta mientras que rendimiento mostró un grado intermedio.

### **Aptitud combinatoria general**

En el Cuadro 4.3 se reportan los valores de ACG para las características: REN, DFM, DFF, AP, en las ocho líneas progenitoras que representan la población Enana.

El ANVA de manera general no tuvo la sensibilidad para detectar diferencias estadísticas en REN y DFM, pero al ser analizadas de manera ortogonal se observó la existencia de resultados que difieren estadísticamente de cero; de las cuales la línea (MLS4-1) posee la información más adecuada para fines de mejoramiento.

Cuadro 4.3. ACG para líneas progenitoras a través de tres localidades, población Enana.

Líneas	Genealogía	REN	DFM	DFE	AP
<b>1</b>	<b>MLS4-1</b>	<b>1.068 *</b>	<b>-0.170</b>	<b>0.278</b>	<b>12.007 **</b>
2	255-18-19-60-A-A	-0.847	-0.355	-0.380	-14.817 **
3	LBCPC4S4	-0.350	0.694	0.449	-4.765
4	PE-202-1	0.395	-0.121	-0.133	6.943 *
<b>5</b>	<b>PE-212-1</b>	<b>-0.247</b>	<b>-1.036 **</b>	<b>-1.080 **</b>	<b>-4.974</b>
6	PE-114-2	-0.292	-0.373	-0.134	-2.500
7	PE-112-7	0.743	0.453	0.175	0.589
8	PE-114-3	-0.470	0.908 *	0.826 *	7.518 *

\*,\*\* niveles de significancia diferentes de cero a  $p < 0.05$  y  $p < 0.01$  respectivamente.

En DFM y DFE, las líneas progenitoras 5, 6, 2, 1, 4 y 5, 2, 6, 4 respectivamente tienen la característica de originar genotipos precoces; de éstas, la línea cinco es diferente de cero ( $p < 0.01$ ), la cual es de rendimientos bajos, pero tiene la particularidad de precocidad en ambos sexos, por lo tanto podría formar parte de un programa de mejoramiento con la función de donar precocidad.

En AP, cuatro líneas progenitoras difieren estadísticamente de cero, de éstas sólo la línea dos refleja efectos de ACG favorable para formar individuos bajos; es de importancia obtener este carácter con, el fin de reducir pérdidas por acame, aumentar la densidad de siembra con la meta final de incrementar el rendimiento por ha.

Los efectos de ACG de las siete líneas que representan la población Exótica se detallan en el Cuadro 4.4. En este caso, el análisis de varianza (Cuadro 4.2.); no fue capaz de identificar diferencias significativas en el carácter rendimiento; y al analizar los datos de manera ortogonal; en el carácter se observaron dos líneas que muestran diferencias de cero, pero sólo la línea E-4 (E-94) refleja efectos favorables para ser escogida como progenitor élite.

En DFM y DFF se observaron efectos positivos y negativos en ACG; de las siete líneas que integran este grupo heterótico dos, son las de interés para futuras combinaciones E-3 (E-195) y E-4 (E-94), pues muestran ser precoces en ambas características, con la particularidad de diferir estadísticamente de cero ( $p < 0.01$ ), ya que cuentan con buena información en la fuente de variación rendimiento; en esta variable, el progenitor E-3, no fue diferente de cero, pero tiene un comportamiento positivo para floración; el bajo rendimiento que se observa en ella se puede atribuir a que su ciclo de vida es muy corto.

Cuadro 4.4. ACG para líneas progenitoras a través de tres localidades en la población Exótica

Líneas	Genealogía	REN	DFM	DFF	AP
E-1	E-75	-0.622	-0.452	-0.169	5.105
E-2	E-174	-0.047	-0.437	-0.263	0.164
<b>E-3</b>	<b>E-195</b>	<b>0.273</b>	<b>-1.383 **</b>	<b>-1.287 **</b>	<b>5.495</b>
<b>E-4</b>	<b>E-94</b>	<b>1.692 **</b>	<b>-0.919 **</b>	<b>-1.542 **</b>	<b>-13.187 **</b>
E-5	E-103	-0.187	0.590 *	0.528	2.926
E-6	E-197	-1.676 *	1.387 **	1.640 **	-10.690 **
<b>E-7</b>	<b>E-82</b>	<b>0.567</b>	<b>1.214 **</b>	<b>1.092 **</b>	<b>10.188 **</b>

\*, \*\* niveles de significancia diferentes de cero a  $p < 0.05$  y  $p < 0.01$  respectivamente.

En altura de planta se observan diferencias muy marcadas en ACG; de éstas, sólo las líneas E-4 y E-6 son favorables, ya que contienen genes para originar individuos de baja altura.

De las siete líneas que integran la población Exótica la línea E-4 (E-94) se considera la mejor debido a que tienen la capacidad de heredar características favorables en las variables REN, DFM, DFF y AP.

### **Aptitud combinatoria específica**

Este atributo tiene la función de cuantificar los efectos de acción génica no aditiva, la cual es particular de un cruzamiento entre dos líneas. Es importante mencionar que aunque el ANVA (Cuadro 4.1.) no identificó diferencias de ACE para rendimiento, al ser analizados de manera ortogonal se detectaron, cuatro combinaciones que difieren de cero Cuadro 4.5, las cuales son: 1x3, 5x8, 4x6, 2x7.

Para DFM, y DFF no se detectaron combinaciones con efectos no aditivos estadísticamente diferentes de cero, probablemente atribuible a la común y poco variable base genética de esta característica en la población.

En altura de planta; se detectaron cuatro cruzas con diferencias significativas favorables para individuos de porte bajo 2x5, 1x6, 1x5 y 3x7 estas cruzas podrían ser empleadas directamente para incrementar la densidad de población en siembras comerciales.

Cuadro 4.5.Efecto de ACE para las características evaluadas bajo un análisis combinado en tres localidades, correspondientes a la población de maíz Enano.

<b>CRUZAS</b>	<b>REN</b>	<b>DFM</b>	<b>DFE</b>	<b>AP</b>
1 x 2	-1.711	0.871	0.258	2.565
1 x 3	2.409 **	0.035	0.316	22.141 **
1 x 4	0.174	-1.513	-1.186	-3.549
1 x 5	-0.882	0.265	0.512	-15.149 *
1 x 6	-1.498	1.154	1.042	-19.376 **
1 x 7	1.271	-0.890	-0.910	3.288
1 x 8	0.237	0.079	-0.033	10.081
2 x 3	-0.564	-1.075	-0.975	0.272
2 x 4	-1.216	-0.085	0.074	-2.110
2 x 5	-0.990	0.321	0.721	-21.352 **
2 x 6	1.663	0.620	0.390	10.533
2 x 7	1.950 *	0.294	0.082	7.611
2 x 8	0.868	-0.947	-0.551	2.481
3 x 4	-0.351	-0.308	-0.222	-10.320
3 x 5	0.347	0.234	0.341	9.455
3 x 6	-0.661	0.571	0.228	-3.519
3 x 7	0.396	0.541	0.868	-13.748 *
3 x 8	-1.576	0.001	-0.556	-4.281
4 x 5	-0.606	0.844	0.705	13.940 *
4 x 6	2.017 *	-0.439	-0.223	5.932
4 x 7	-0.350	0.561	0.335	5.852
4 x 8	0.332	0.940	0.517	-9.744
5 x 6	0.143	-1.327	-1.358	11.165
5 x 7	-0.188	-0.691	-0.885	-1.231
5 x 8	2.177 *	0.354	-0.036	3.172
6 x 7	-1.352	0.017	-0.114	-2.398
6 x 8	-0.312	-0.596	0.035	-2.336
7 x 8	-1.727	0.169	0.624	0.627

\*,\*\* niveles de significancia diferentes de cero a  $p < 0.05$  y  $p < 0.01$  respectivamente.

Los efectos en ACE para rendimiento de grano en la población exótica, se presentan en el cuadro 4.6, donde de manera general la falta de significancia en este carácter, demuestra la gran similitud que existe entre las líneas derivadas de la misma población que se traduce en poca o nula complementariedad en sus cruzamientos.

En los efectos de ACE estimados para DFM, y DFF lo importante de destacar, es que se identificaron dos combinaciones con efectos no aditivos estadísticamente diferentes de cero que originan híbridos precoces, esas cruzas son: 3x5 y 3x6.

Cuadro 4.6. Efectos de ACE para los características, evaluadas bajo un análisis combinado a través de las tres localidades correspondiendo a la población Exótica.

<b>CRUZAS</b>	<b>REN</b>	<b>DFM</b>	<b>DFF</b>	<b>AP</b>
1 x 2	1.140	-0.834	0.114	7.532
1 x 3	-0.167	1.279 *	0.972	-1.298
1 x 4	0.704	0.664	0.666	-8.040
1 x 5	0.242	-0.299	-0.554	-3.922
1 x 6	0.240	-0.658	-0.956	0.386
1 x 7	-2.159	-0.152	-0.241	5.342
2 x 3	-1.649	1.627 **	1.278 *	1.461
2 x 4	0.089	-0.352	-0.074	2.734
2 x 5	-0.696	-0.361	-0.311	-6.712
2 x 6	1.276	-0.778	-0.906	6.967
2 x 7	-0.160	0.697	-0.101	-11.982 *
3 x 4	1.449	-0.239	-0.216	22.737 **
3 x 5	1.064	-1.249 *	-1.619 *	-6.709
3 x 6	-0.827	-1.879 **	-1.565 *	-9.594 *
3 x 7	0.130	0.461	1.151 *	-6.596
4 x 5	-1.283	0.288	0.302	-6.361
4 x 6	-1.456	0.309	-0.250	-13.988 *
4 x 7	0.497	-0.670	-0.428	2.919
5 x 6	-0.126	2.482 **	3.120 *	14.808 *
5 x 7	0.799	-0.861 *	-0.937	8.897
6 x 7	0.893	0.524	0.556	1.421

\*,\*\* niveles de significancia diferentes de cero a  $p < 0.05$  y  $p < 0.01$  respectivamente.

En altura de planta es alto la variación que existe en efectos para ACE, pero sólo se identificaron cinco combinaciones que difieren de cero, las que expresan en mayor grado el efecto de dominancia, para fenotipos de porte bajo son: 4x6, 2x7 y 3x6.

Después de argumentar y discutir las varianzas de las dos poblaciones bajo estudio resulta obvio la necesidad de incrementar su variabilidad para tener mayores probabilidades de éxito en el mejoramiento poblacional *per se*. Si se desea mejorar el comportamiento agronómico de los híbridos que surgen de la combinación de las líneas de estas poblaciones se recomienda aplicar selección recíproca recurrente entre ambas poblaciones.

### **Heterosis**

En los Cuadros 4.7 y 4.8 se presentan los valores estimados de heterosis por cruce, así como también las medias para cada uno de los caracteres evaluados que integran las cruces simples de las poblaciones: Enana y Exótica, respectivamente.

En el grupo Enano, la cruce 2x6 refleja la mayor expresión heterótica en toda la población con un valor de 202% en el carácter REN; sin embargo su promedio de 12.891  $\text{tha}^{-1}$ , no cuenta con los atributos para ser seleccionada; esta condición es probablemente debido a que sus progenitores tienen efectos de ACG negativa.

Es importante observar que los progenitores de la cruce 1x7 ambos son buenos en ACG, ocupa el segundo lugar en el promedio de rendimiento, con buenos atributos en las demás características evaluadas. Por lo tanto es un híbrido que se podría explotar comercialmente, o ser progenitor potencial de híbridos triples o dobles.

Cuadro 4.7.; Medias de rendimiento y estimaciones de la heterosis en porciento, para cada crusa simple de la población Enana.

HIBRIDOS	CRUZAS	MED REN	H REN	MED DFM	H DFM	MED DFF	H DFF	MED AP	H AP
<b>11</b>	<b>2x6</b>	<b>12.891</b>	<b>202</b>	<b>79</b>	<b>-7</b>	<b>81</b>	<b>-7</b>	<b>145</b>	<b>29</b>
20	4x6	14.487	176	78	-8	80	-8	162	31
2	1x3	15.494	164	80	-4	82	-4	181	38
12	2x7	14.213	149	79	-6	81	-7	145	24
3	1x4	14.004	144	77	-6	80	-5	167	24
<b>6</b>	<b>1x7</b>	<b>15.449</b>	<b>133</b>	<b>78</b>	<b>-3</b>	<b>81</b>	<b>-4</b>	<b>168</b>	<b>28</b>
1	1x2	10.878	129	79	-3	81	-3	152	22
5	1x6	11.645	125	80	-3	82	-3	142	12
9	2x4	10.700	122	78	-8	81	-7	142	17
13	2x8	11.919	119	79	-8	81	-8	147	26
8	2x3	10.606	114	78	-9	80	-9	132	13
7	1x8	13.203	108	80	-3	82	-3	181	40
16	3x6	11.064	106	80	-7	82	-8	141	18
14	3x4	12.061	103	79	-8	81	-8	144	12
21	4x7	13.155	97	80	-6	81	-6	165	28
22	4x8	12.624	96	81	-6	82	-6	157	23
17	3x7	13.155	93	81	-5	82	-6	134	7
23	5x6	11.971	93	76	-10	78	-10	155	27
27	6x8	11.293	92	79	-8	82	-7	154	30
25	5x8	13.827	88	79	-7	81	-8	158	25
26	6x7	11.466	87	79	-6	81	-7	147	23
4	1x5	12.306	84	78	-4	81	-4	144	7
10	2x5	10.284	78	78	-8	80	-8	111	-8
19	4x5	11.909	77	79	-7	80	-8	168	28
15	3x5	12.117	76	79	-8	81	-8	152	19
24	5x7	12.675	66	78	-8	79	-8	146	15
18	3x8	9.971	52	81	-7	82	-8	150	21
28	7x8	10.913	49	80	-5	83	-5	161	30

**MED**= media; **H**= heterosis.

En cuanto a heterosis y promedio de rendimiento de la población Exótica se presenta un resumen en el Cuadro 4.8 donde se observa una tendencia muy similar a lo discutido en la población Enana ya que los híbridos experimentales con mayor promedio de rendimiento (3x4 y 4x7) están formados por los progenitores de mayores efectos en ACG.

Mientras que las cruzas experimentales de mayor heterosis (2x7 y 1x2) incluyen en su combinación al menos un progenitor de malos efectos en ACG para rendimiento

(ver Cuadro 4.4), por lo tanto nuevamente se demuestra la mayor aportación al rendimiento esta dada por los efectos aditivos y magnificada por los no aditivos propios de la ACE.

De manera general, los híbridos experimentales más prometedores de esta población fueron los formados por el cruzamiento específico de las líneas 3x4 y 4x7, además de tener un buen comportamiento en DFM, DFF y AP, muestran un alto potencial de rendimiento.

Cuadro4.8. Medias de rendimiento y estimaciones de la heterosis en porciento, para cada crusa simple en la población Exótica.

HIBRIDOS	CRUZAS	MED REN	H REN	MED DFM	H DFM	MED DFF	H DFF	MED AP	H AP
<b>11</b>	<b>2x7</b>	<b>13.479</b>	<b>577</b>	<b>82</b>	<b>-6</b>	<b>82</b>	<b>-8</b>	<b>208</b>	<b>26</b>
<b>1</b>	<b>1x2</b>	<b>13.590</b>	<b>557</b>	<b>78</b>	<b>-9</b>	<b>81</b>	<b>-8</b>	<b>222</b>	<b>43</b>
15	3x7	14.089	381	80	-8	82	-9	218	27
6	1x7	10.905	361	81	-7	82	-8	230	33
7	2x3	11.697	345	80	-8	81	-9	216	40
2	1x3	12.603	320	79	-9	81	-9	219	34
8	2x4	14.854	300	78	-9	79	-10	199	45
<b>18</b>	<b>4x7</b>	<b>15.875</b>	<b>296</b>	<b>80</b>	<b>-8</b>	<b>80</b>	<b>-9</b>	<b>209</b>	<b>35</b>
3	1x4	14.893	264	79	-8	80	-9	193	33
<b>12</b>	<b>3x4</b>	<b>16.533</b>	<b>256</b>	<b>78</b>	<b>-10</b>	<b>78</b>	<b>-12</b>	<b>224</b>	<b>55</b>
20	5x7	14.298	203	81	-7	82	-8	231	39
10	2x6	12.672	200	80	-5	82	-6	206	41
21	6x7	12.903	186	83	-3	85	-4	210	28
9	2x5	12.190	176	80	-8	81	-8	206	38
13	3x5	14.270	166	78	-11	79	-12	211	35
4	1x5	12.552	162	80	-8	81	-8	213	37
5	1x6	11.061	141	80	-6	82	-6	204	33
14	3x6	10.890	111	78	-9	80	-9	194	26
16	4x5	13.341	107	80	-7	81	-9	193	39
17	4x6	11.679	87	81	-4	81	-7	171	26
19	5x6	11.130	60	85	-1	87	-1	216	47

**MED** = media; **H**= heterosis

## V. CONCLUSIONES

Las características agronómicas analizadas están controladas mayormente por efectos aditivos en ambos grupos germoplásmicos, a excepción del carácter rendimiento en el grupo de maíz Enano, que mostró mayores efectos del tipo no aditivo; esto conduce a establecer que cada grupo puede ser mejorado bajo un esquema de selección recurrente, sin embargo si el objetivo central es magnificar el patrón heterótico preferentemente se debe realizar selección recíproca recurrente entre ambos grupos

En el grupo de maíz Enano la línea MLS4-1 posee efectos positivos de ACG diferentes de cero en el carácter rendimiento, la línea PE-212-1 expresó tener buena ACG para todas las características agronómicas evaluadas a excepción de rendimiento. Mientras que en el grupo Exótica la línea E-94 es la que sobresale estadísticamente en ACG, para todas las características evaluadas.

Las cruzas simples con mayor potencial agronómico son: en el grupo Enano MLS4-1 x PE-112-7; mientras que en el grupo de maíz Exótico sobresalen E-195 x E-94 y E-94 x E-82.

## **VI. RESUMEN**

Una herramienta ordinariamente utilizada en la estimación de efectos para ACG de líneas y ACE de combinaciones específicas, es el método IV de los cruzamientos dialélicos propuestos por Griffing (1956), el que además de tener la particularidad de cuantificar los efectos genéticos aditivos y no aditivos en la población, permite estimar la heredabilidad del carácter evaluado. La finalidad de este trabajo fue la de encontrar los tipos de acción génica y heredabilidad de las variables Días a Flor Hembra y Macho, Altura de Planta y Rendimiento en dos grupos germoplásmicos complementarios, denominados Maíz Enano y Maíz Exótico, ambos adaptados a la región del Bajío mexicano y constituyentes de un importante patrón heterótico para esa región agroecológica. También se propuso aquí; estimar efectos de ACG para las líneas de los dos grupos, la heterosis y ACE de las cruzas de cada grupo, y seleccionar cruzas simples experimentales. Los cruzamientos dialélicos fueron realizados en Tepalcingo, Morelos; en el ciclo 2001-2002, para luego ser evaluadas en tres localidades: Celaya, Gto.; La Piedad, Mich.; y General Cepeda, Coah., en el verano del 2002 bajo un diseño bloques al azar con dos repeticiones. Los resultados obtenidos indican que en los grupos de Maíz Enano y Exótico existe suficiente variabilidad genética para continuar realizando mejoramiento con positivas expectativas de éxito. Las conclusiones se enfocaron a las características agronómicas analizadas en los grupos, indicando en general que los efectos aditivos fueron de mayor importancia, a excepción del carácter

rendimiento en el grupo Enano, donde se encontró mayor acumulación de efectos de dominancia; por lo tanto aplicando el esquema de selección recíproca recurrente se tendrá mayor respuesta al mejorar ambas poblaciones y magnificar la expresión del patrón heterótico. Las líneas superiores fueron: MLS4-1 para el grupo Enano y E-94 para el grupo Exótico, las cuales son protagonistas en la formación de los mejores cruzamientos: MLS4-1 x PE-112-7 para el grupo de maíz Enano y E-195 x E-94, E-94 x E-82 en el grupo Exótico.

## LITERATURA CITADA

- Becker, W. A. 1986. Manual de Genética Cuantitativa. Primera edición en español. Academic Enterprises. Pullman, WA.USA. 174 p.
- Castillo G. F. 1994. Aprovechamiento de la diversidad genética del maíz en México. Memorias XV Congreso Nacional de Citogenética. Monterrey, N.L.
- Castillo R.A. 1994. Mejoramiento comprensivo aprovechando una base genética amplia y selecta de maíces para regiones semiáridas de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista Saltillo, Coah. México.
- Cockerham, C. C. 1963. Implications of genetics variances in a hybrid breeding program. Crop Sci. 1: 47-52.
- Chávez A., J. L. 1995. Mejoramiento de Plantas I. 2ª edición. Ed. Trillas, México, D. F. 136 p.
- De León C., H. H., E. Ramírez, G. Martínez., A. Oyervides., A. De La Rosa .1999 Evaluación de diversos Patrones Heteróticos en la formación de híbridos de maíz para el Bajío. Agron. Mesoam. 10(2):31-35.
- Dudley, J. W. and R. H. Moll. 1969. Interpretation and use of estimates of heredability and genetic variances in plant breeding. Crop Sci. (3): 257-262.
- Falconer, D. S. 1983. Introducción a la Genética Cuantitativa. Decimotercera edición. CECSA. México. 430 p.
- Flores, H. A. 2001. Introducción a la Genotecnia Vegetal 1ra edición. Ed. dirección general de difusión cultural y servicio de la UACH, México, texcoco. 71-83 p.

- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- Hallauer A. R. and J. B. Miranda. 1988. Quantitative genetics in maize breeding. 2da. Ed Iowa State University Press, Ames, Iowa. USA. 45-61 p.
- Kang, S., M. and Zhang, Y. 2003. Diallel-SAS: A Program for Griffing's Diallel Methods. *In*: Kang M S (ed) Handbook of formulas and software for plant geneticists and breeders. Food products Press. New York pp: 193-203.
- Lush, J.L. 1940. Intra sire correlations or regressions of offspring on dam as a method of estimating heredability or characteristics. 33 rd annu. Proc. Am. Sol. Ann. Prod.
- Márquez S., F. 1985. Genotecnia Vegetal. Métodos, teoría y resultados. Tomo I. AGT editor, S.A. México, D.F. 357 p.
- Márquez S., F. 1988. Genotecnia Vegetal. Tomo II. A. G. T. editor, S.A. México. pp. 1-343.
- Márquez S., F. 1991. Genotecnia vegetal. Métodos, teoría y resultados. Tomo III. AGT editor, S.A. México, D.F. 500 p.
- Melchinger, A. E., and R.K. Gumber. 1998. Overview of heterosis and heterotic groups in agronomic crops. *In*: Lamkey, K. R., and J.E. Staub. (Eds). Concepts and Breeding of Heterosis in crop Plants. 1998. Madison, Wisconsin. Pp29-44.
- Mickelson, H. R., M. B. Jarnason., H. S. Córdova, and K. Pixley, 1995. Combining exotic *per se* performance. Reporte del Programa de Maíz de CIMMYT, el Batán, México. p.6.

- Namkoong, G. 1979. Introduction to Quantitative Genetics in Forest. USDA. Forest service. Technical Bulltin No. 1588. USA. 342 p.
- Robles S., R. 1986. Genética Elemental y Fitomejoramiento Práctico. Ed. Limusa, S.A de C.V., México, D.F., 477p.
- Robles S., R. 1987. Terminología Genética y Fitogenética. Ed. Trillas. México. D.F. 163p.
- Shull, G. M. 1908 The composition of yield of maize. Am. Breeders Assoc. Rep. 4; 296 – 301.
- Vasal S., K. 1986. CIMMYT hibrid maize program. Reunión anual de maíz. México. D.F. 17 p.
- Vasal, S. K., S., Pandey, y J. Crossa. 1988. Desarrollo de híbridos no convencionales de maíz. In. Reunión Bianual de Maiceros de la Zona Andina. (13., 1988 Chiclayo, Perú. Simposio).