

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISION DE AGRONOMIA



***CARACTERIZACION GENETICA DE UNA POBLACION PRECOZ DE MAIZ
BAJO UN DISEÑO DIALELICO***

POR

NOE MUSITO RAMIREZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TITULO DE:

INGENIERO AGRONOMO EN PRODUCCION

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO

DICIEMBRE DEL 2000

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

División de Agronomía

Departamento de Fitomejoramiento

Caracterización genética de una población precoz de maíz bajo un diseño dialélico

Por:

Noé Musito Ramírez

TESIS

Que somete a consideración del 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

M. C. Ma. Cristina Vega Sánchez
Sinodal

Dr. Mario E. Vázquez Badillo
Sinodal

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

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Diciembre del 2000

DEDICATORIAS

A ti DIOS que en todo momento estuviste conmigo motivándome a seguir siempre adelante con fuerza y entusiasmo.

Con el más sincero afecto y admiración, dedico muy especialmente este trabajo a mis padres Heriberta Ramírez Urzua y Vidal Musito Toríz por sus atenciones y esfuerzos puestos en mí.

A mi compañero y amigo Jesús Rodríguez de la Paz por su verdadera amistad noble y sincera.

Con mucho cariño a ti Aidé Araceli Blanco Olivares por llenarme de ánimo en el momento en que más lo necesitaba.

A mis compañeros de la especialidad de Ing. Agrónomo en Producción por los momentos gratos e inolvidables compartidos a lo largo de nuestra formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

A mi siempre querida Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" por permitir mi formación profesional como Ing. Agrónomo en Producción.

Al M. C. Humberto de León Castillo, por darme la oportunidad y confianza de realizar el presente trabajo, además de su valiosa enseñanza durante mi formación profesional.

A la M. C. Ma. Cristina Vega Sánchez por su gran ayuda en la revisión del presente trabajo.

Al Dr. Mario E. Vázquez Badillo por sus consejos y revisión de este trabajo.

Al Ing. José A. de la Cruz Bretón por motivarme a estudiar y trabajar cada momento de estancia en la UAAAAN.

Al Dr. Alejandro Espinosa Calderón por su amistad y confianza depositada en mi así como, el haberme permitido compartir sus trabajos de investigación en maíz.

A los señores José A. Godina y Teresa Sandoval a quienes agradezco sinceramente su amistad y confianza.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
DEDICATORIAS.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
Indice de contenido.....	v
Indice de cuadros.....	vii
Resumen.	viii
Introducción.....	1
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	4
Revisión de Literatura.....	5
Aptitud combinatoria general y específica.....	5
Heterosis.....	7
Heredabilidad.....	8
Predicción de híbridos.....	10
Diseños genéticos.....	12
Cruzas dialélicas.....	12
Diseños de Griffing.....	14
Materiales y Métodos.....	16
Material genético.....	16
Descripción del área de estudio.....	18
Procedimiento experimental de campo.....	18
Labores culturales.....	19
Fertilización.....	19
Riegos.....	19
Variables a evaluar.....	20
Análisis dialélico.....	24
Estimaciones de Aptitud Combinatoria.....	26

INDICE DE CONTENIDO (CONTINUACION)

Estimación del comportamiento de híbridos simples.....	29
Resultados y Discusión.....	30
Análisis de varianza para el diseño dialélico.....	30
Aptitud combinatoria para rendimiento.....	32
Efectos de ACG.....	32
Efectos de ACE.....	33
Aptitud combinatoria para días a floración femenina.....	35
Efectos de ACG.....	35
Efectos de ACE.....	36
Aptitud combinatoria para días a floración masculina.....	37
Efectos de ACG.....	37
Efectos de ACE.....	38
Aptitud combinatoria para altura de planta.....	39
Efectos de ACG.....	39
Efectos de ACE.....	40
Aptitud combinatoria para altura de mazorca.....	41
Efectos de ACG.....	41
Efectos de ACE.....	42
Predicción del comportamiento de híbridos simples en la siguiente Generación.....	43
Predicción de híbridos triples.....	44
Estimación de varianzas.....	46
Conclusiones.....	47
Literatura citada.....	48

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
3.1 Descripción del material genético.....	17
3.2 Análisis de varianza dialélico.....	25
4.1 Cuadrados medios del análisis dialélico para la población precoz.....	30
4.2 Efecto de ACG para rendimiento de grano en ton ha ⁻¹ de diez líneas precoces de maíz.....	32
4.3 Efecto de ACE rendimiento de grano en ton ha ⁻¹ de diez líneas precoces de maíz.....	34
4.4 Efecto de ACG para días a floración femenina.....	35
4.5 Efecto de ACE para días a floración femenina.....	36
4.6 Efecto de ACG para días a floración masculina.....	37
4.7 Efecto de ACE para días a floración masculina.....	38
4.8 Efecto de ACG para altura de planta.....	39
4.9 Efecto de ACE para altura de planta.....	40
4.10 Efecto de ACG para altura de mazorca.....	41
4.11 Efecto de ACE para altura de mazorca.....	40
4.12 Comportamiento de híbridos simples en la siguiente generación.....	44
4.13 Cruzas triples predichas para rendimiento, días a flor masculina, días a flor femenina, altura de planta y altura de mazorca.....	55
4.14 Estimado de varianza aditiva y de dominancia.....	46

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la localidad de Celaya, Guanajuato (1999), con la finalidad de estimar en una población de maíz, los componentes de varianza asociados con la aptitud combinatoria general y específica así, en base a estas estimaciones se toman decisiones para definir el mejor esquema de mejoramiento genético o hibridación.

El material genético formador de la población constó de 45 cruzas formadas a partir de diez líneas precoces con un nivel de endogamia S_5 , dichas líneas se derivaron a partir de líneas élite recuperadas del programa de mejoramiento del Bajío cuyos atributos son: el excelente comportamiento **per se** y los altos efectos de aptitud combinatoria general. Las líneas originales mostraban la desventaja de que originan en su descendencia híbridos muy tardíos razón por la cual, estas líneas se sometieron a un programa de selección gamética y se cruzaron con cuatro donadores de precocidad (Zacatecas 58, Cafima, VS-201, y Zapalote chico). De estos cruzamientos se derivaron 700 líneas, mismas que se sometieron a un intenso programa de evaluación y selección quedando como sobresalientes 10 líneas S_5 que conformaron el presente estudio.

Del total de las variables evaluadas, en las cruzas simples, se tomaron como criterio de selección asistido por el análisis de varianza cinco caracteres

agronómicos (rendimiento, días a flor femenina, días a flor masculina, altura de planta y altura de mazorca) determinado en cada uno su heredabilidad en sentido estrecho.

Además, otros criterios de selección no analizados estadísticamente fueron: acame de raíz, acame de tallo, aspecto de planta, aspecto y cobertura de mazorca

Se identificaron cruzas con alto potencial agronómico con tendencias a transmitir esas características para la predicción de cruzas triples así también, se predijo el comportamiento de híbridos simples en generaciones futuras.

Destacan entre los resultados, diferencias altamente significativas entre cruzas para las variables días a floración masculina y femenina así también, fuera de la variable altura de planta, todas las demás variables mostraron alta significancia en lo referente a ACG. Por lo que respecta a ACE ninguna variable en estudio encontró significancia, esto concuerda con los estimados de varianza donde se tuvo mayor efecto en la varianza aditiva que en la de dominancia.

En lo que se refiere a ACG, sobresalen por su capacidad de rendimiento los progenitores uno, siete y tres; para las variables de días a floración masculina y femenina, las líneas 7, 1, 3 y 5 aportaron el mejor efecto.

En cuanto a la predicción del comportamiento de híbridos simples en la siguiente generación, los que mostraron el mejor comportamiento fueron: 1X5, 2X3 y 1X6.

Las mejores cruzas triples predichas fueron: (5X6)X1, (1X3)X5 y (3X5)X1, con rendimientos de 17.523, 17.401 y 17.159 ton ha⁻¹ respectivamente.

Respecto a la estimación de varianzas aditiva y de dominancia, la población a formarse con el material evaluado contendrá mayor varianza aditiva para las características de días a floración masculina, días a floración femenina, altura de planta, altura de mazorca y rendimiento a la cual, se le puede aplicar un esquema de mejoramiento recurrente en donde se acumulen los efectos aditivos presentes en las variables agronómicas evaluadas. En cuanto a las variables días a floración masculina, días a floración femenina y rendimiento muestran un efecto positivo en la varianza de dominancia, en donde se podría explotar los efectos no aditivos con algún programa de hibridación o selección recíproca recurrente.

INTRODUCCION

El objetivo principal del fitomejoramiento es el de obtener o producir líneas, variedades o híbridos, que sean eficaces transformadores de las sustancias nutritivas de que disponen; que produzcan los mayores rendimientos por unidad de superficie en productos de alta calidad y al menor costo posible, y por último, que se adapten a las necesidades del productor y del consumidor.

Una de las finalidades más importantes en el mejoramiento, es la de obtener materiales capaces de resistir condiciones extremas, que sean resistentes a los factores bióticos indeseables y que no sean portadores de caracteres agronómicos indeseables que tienden a controlar las fluctuaciones extremas de los rendimientos y a estabilizar en consecuencia, la productividad de los cultivos.

En México, el cultivo de maíz cobra gran importancia por ser fuente básica de la alimentación, por su superficie cultivada y por la creciente demanda actual; dada su importancia, continuamente se hacen estudios sobre mejoramiento genético buscando identificar líneas con buenos atributos genéticos y que en combinaciones híbridas expresen su máxima heterosis.

Por lo anterior, el valor de una línea puede determinarse mediante dos aspectos fundamentales:

- Las características **per se**, en las cuales se toman en cuenta el rendimiento, vigor, uniformidad, tolerancia al acame, plagas y enfermedades entre otras.

- La aptitud combinatoria, es decir el comportamiento de las líneas en combinaciones híbridas, para luego seleccionar aquellas que reúnan características sobresalientes.

Por lo anterior, el presente estudio consistió en evaluar diez líneas precoces de maíz y formadoras de una población, bajo el diseño cuatro de Griffing (1956), con la finalidad de estimar los componentes de varianza asociados con la aptitud combinatoria general y específica, y así en base a estas estimaciones tomar decisiones para el mejoramiento genético de la población estudiada.

Objetivos

- ❖ Estimar los efectos de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica de las líneas y sus cruzas respectivamente.
- ❖ Determinar la varianza aditiva ($\sigma^2 A$) y la varianza de dominancia ($\sigma^2 D$) para variables agronómicas.
- ❖ Seleccionar las cruzas con alta aptitud combinatoria, con enfoque a la formación de híbridos comerciales.
- ❖ En base al método B de Jenkins predecir híbridos triples.

Hipótesis

- ❖ Del total de cruzas resultantes, existe al menos una que exhiba un comportamiento superior al resto.
- ❖ La aptitud combinatoria general y específica se relacionan con los efectos aditivos de los genes y de las desviaciones de dominancia respectivamente.
- ❖ A partir de cruzas simples no parentales se pueden predecir híbridos triples.

REVISION DE LITERATURA

Aptitud Combinatoria General y Específica

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 específica 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 cruzas (Poehlman, 1974)

La aptitud combinatoria es importante en el mejoramiento genético cuando se desea comparar el comportamiento de líneas con diferentes grados de diversidad genética en combinaciones híbridas (Griffing, 1956).

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

cruzas específicas manifiestan el más alto rendimiento y difiere de lo que podría esperarse con el promedio de cada línea (Sprague y Tatum, 1942).

Cockerham (1963) y Kambal y Webster (1965), indican que la ACG se relaciona con los efectos aditivos de los genes y la ACE con las desviaciones de dominancia, epistasis e interacción entre loci.

Las estimaciones de ACG y ACE son relativas y dependen del grupo particular de líneas endogámicas incluidas en los híbridos bajo evaluación, lo cual es un principio importante que es frecuentemente olvidado (Hallauer y Miranda, 1981).

Rojas y Sprague (1952) concluyeron, que la actitud combinatoria general en maíz es relativamente más estable en localidades y años que la aptitud combinatoria específica; 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.

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

Frecuentemente se emplean cruzamientos dialélicos para estimar los componentes genéticos de la variación entre los rendimientos de las propias cruas, así como su capacidad productiva. Estos cruzamientos se han utilizado para definir y aplicar los conceptos de ACG y ACE, así como para procedimientos que permitan estudiar a los padres en particular (Martínez, 1975)

Heterosis

La heterosis se considera como un fenómeno genético, donde se expresa al máximo el vigor con respecto a sus progenitores, puede definirse como el incremento en tamaño o vigor de un híbrido con respecto al promedio de sus progenitores, medido a través de indicadores como: resistencia a insectos y enfermedades, rendimiento, altura de planta y mazorca, (Allard, 1960; Poehlman, 1981).

Castro *et al.*, (1968) concluyeron que el fenómeno de la heterosis se manifiesta al cruzar materiales de diferente fondo genético, así como de diferente origen geográfico.

Vasal *et al.*, (1988) mencionan que el uso de germoplasma de maíz con tolerancia a la endogamia y buena aptitud combinatoria son dos factores muy importantes en el desarrollo de híbridos. Así mismo, consideran la explotación

de patrones con un alto nivel de heterosis para desarrollar híbridos en el menor tiempo posible.

Poehlman (1981) menciona que las líneas puras pueden producir excelentes híbridos cuando se cruzan con otras líneas que no están emparentadas.

Córdova y Mickelson (1995) señalan que la elección apropiada del germoplasma, constituye la mitad del éxito en un programa para formar híbridos, así mismo, mencionan que la elección de una fuente de germoplasma implica tener el conocimiento del patrón heterótico a que pertenece.

Heredabilidad

La heredabilidad es un parámetro que expresa la proporción de la varianza total que es atribuible a los efectos promedio de los genes y esto determina en parte al grado del parecido entre parientes. La función más importante de la heredabilidad en el estudio genético de los caracteres métricos, es la de expresar la confiabilidad del valor fenotípica como indicador del valor reproductivo y es el valor reproductivo de un individuo lo que determina su influencia en la siguiente generación.

La heredabilidad es debida a la constitución genética transmisible de una generación a otra y se expresa en por ciento con respecto a la unidad. Como el fenotipo es la interacción del genotipo con el ambiente; lógicamente, entre menor es la influencia del ambiente, menor será la expresión del genotipo; el cual, también se manifiesta más a medida que sea menor el número de pares de genes que intervienen en un cierto carácter (caracteres cualitativos); y viceversa, entre mayor sea el número de pares de genes para un carácter (carácter cuantitativo) habrá mayor influencia del ambiente.

Si heredabilidad tiene un valor alto, la única razón posible es que la σ^2_A representa casi toda la variación existente o, en otras palabras, que el componente aditivo es el principal factor de variación existente en nuestro material; en tal caso, la correlación entre fenotipo y genotipo será alta y por tanto podremos escoger con confianza los mejores fenotipos sabiendo que en ellos están los mejores genotipos.

La heredabilidad no es un parámetro de valor universal para cada carácter de cada especie, sino que es función de los genes que tenemos y sirven para seleccionar el material que tenemos.

La heredabilidad representada por h^2 es definida como el cociente de la varianza genética aditiva sobre la varianza fenotípica y corresponde a la heredabilidad en sentido estrecho, mientras que la heredabilidad en sentido

amplio se define como el cociente de la varianza genética total sobre la varianza fenotípica, convencionalmente se representa como H^2 (Becker, 1986; Falconer, 1983; Namkoong, 1979), y se le llama también coeficiente de determinación genética.

Predicción de Híbridos

En los programas de mejoramiento genético de las plantas, la predicción de híbridos juega un papel importante, ya que por medio de éstas podemos conocer el comportamiento de los híbridos, así como las mejores combinaciones de progenitores para su formación sin necesidad de realizar y evaluar una inmensa cantidad de cruzas indeseables.

Existen métodos que permiten a los fitomejoradores de maíz predecir el comportamiento de las mejores combinaciones híbridas sin efectuar y probar literalmente miles de cruzas indeseables. Sin embargo, las combinaciones predichas deberán probarse exhaustivamente bajo condiciones de campo antes de que se pongan a producción comercial (Jugenheimer, 1990).

Jenkins (1934) informó sobre la eficiencia relativa de cuatro métodos para predecir el desempeño de híbridos de cruza doble.

- A. El valor promedio para cualquier carácter de las seis posibles combinaciones de cruce simple entre cuatro líneas puras.

- B. El valor de cuatro cruces simples no parentales entre cuatro líneas puras.

- C. El valor de la media de todas las cruces simples en las cuales una línea pura fue una de los progenitores.

- D. El valor de la media de los mestizos o cruces radiales para cualesquiera de las cuatro líneas puras proporcionadas.

El método B tiene la base genética más firme y proporciona información sobre el desempeño de las tres posibles combinaciones de cruce doble que incluyan cuatro líneas puras (Jugenheimer, 1990)

Sprague (1955) señaló que los métodos A, C y D suponen una acción génica aditiva y que un gene aportado por cualquier línea producirá su efecto característico sin importar el orden de apareamiento. El método B permite el reconocimiento de los efectos no aditivos que se originan de la dominancia, la epistasis, etc. (Jugenheimer, 1990).

Hayes *et al.*, (1954) evaluaron cruzas dobles (CD) y reportaron una buena concordancia de los resultados predichos y observados al usar medias de cruzas simples, para predecir rendimiento de cruzas dobles.

Baker (1978) indica que la formación de cada progenie está dada por los componentes de aptitud combinatoria general (efectos medios) y la aptitud combinatoria específica (interacción), además opina que si el cuadrado medio de la ACE no es significativo, la formación de una progenie puede ser adecuadamente predicha sobre la base de la ACG.

Diseños Genéticos

Los diseños genéticos o diseños de apareamiento, son planes de cruzamiento entre los individuos de una población, con la finalidad de estudiar teóricamente los efectos y las varianzas genéticas que se presentan en las progenes.

La selección del diseño genético estará en función de los objetivos del trabajo de investigación. Deberá elegirse el más práctico y sencillo, pero que proporcione la información necesaria. Por ejemplo, si deseamos cuantificar nada más la varianza genética, un diseño de un factor es suficiente. Si quisiéramos estimar la varianza aditiva y la varianza de dominancia, solo se podrá hacer con un diseño de dos o más factores. Si se trata de estimar la

varianza espistática ocuparemos un diseño de tres factores o todavía aún más complejo (Dudley y Moll, 1969).

Cruzas Dialélicas

En genética vegetal, cuando los investigadores disponen de una muestra de **P** líneas y efectúan cruzas simples entre ellas llamadas cruzas dialélicas, los diseños de cruzamientos de Griffing (1956) son de gran utilidad para evaluar diferentes aspectos genéticos asociados con las cruzas, apoyándose para ello en la realización de pruebas de hipótesis y en la estimación de parámetros. En ciertas especies vegetales es posible utilizar a las líneas que participan en una determinada craza como padres, madres o para efectuar autofecundaciones. La elección de alguno de los diseños de Griffing, depende de las cruzas que se incluyan en el experimento; si se consideran las cruzas en un sentido, es posible elegir a los diseños dos o cuatro de Griffing en cambio, si se consideran además las cruzas recíprocas, es posible elegir a los diseños uno o tres de Griffing respectivamente.

Vasal *et al.*, (1987) 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.

Terrón (1981), aplicó el modelo estadístico propuesto por Gardner y Eberhart, que a su vez es una modificación del diseño dos de Griffing para análisis dialélicos, el autor concluye que dicho modelo puede ser útil para obtener conocimiento de la variación genética y aptitud combinatoria mediante parámetros relacionados con la heterosis.

Diseños de Griffing

Griffing (1956) usó el término “cruzas dialélicas” y las describe 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; y presenta cuatro métodos para el análisis de cruzas dialélicas e introduce los cuatro diseños que llevan su nombre y que a continuación se describen:

- ◆ Diseño 1. Comprende el ensayo de las autofecundaciones (padres), las cruzas F1 y las recíprocas de la F1.

$$N = 10 \text{ padres}$$

$$N (n - 1) / 2 = 45 \text{ F1 directas}$$

$$N (n - 1) / 2 = 45 \text{ F1 recíprocas}$$

$$\text{Total} = n^2 = 100$$

- ◆ Diseño 2. 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.

$$N = 10 \text{ padres}$$

$$N(n - 1) / 2 = 45 \text{ F1 directas}$$

$$\text{Total} = n(n + 1) / 2 = 55$$

- ◆ Diseño 3. Se ensayan las F1 y sus recíprocas, pero no se incluyen las autofecundaciones (padres), se ensayan $n(n - 1)$ autofecundaciones.

$$N = 10 \text{ padres}$$

$$N(n - 1) / 2 = 45 \text{ F1 directas}$$

$$N(n - 1) / 2 = 45 \text{ F1 recíprocas}$$

$$\text{Total} = n(n - 1) = 90$$

- ◆ Diseño 4. Se ensaya un grupo de cruzas F1, sin incluir las recíprocas (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 general y específica de los padres.

$$N = 10 \text{ padres}$$

$$N(n - 1) / 2 = 45 \text{ F1}$$

$$\text{Total} = n(n - 1) / 2 = 45$$

MATERIALES Y METODOS

Material Genético

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

La población precoz se formó a partir de líneas élite recuperadas del programa del mejoramiento del bajío, cuyos principales atributos son; el excelente comportamiento **per se** y de los altos efectos de aptitud combinatoria general. Las líneas originales mostraban la desventaja de que originaban en su descendencia híbridos muy tardíos, lo cual es una característica indeseable, razón por la cual, estas líneas se sometieron a un programa de selección gamética y se cruzaron con cuatro donadores de precocidad. De estos cruzamiento se derivaron 700 líneas, mismas que se sometieron a un intenso programa de evaluación y selección **per se** y de aptitud combinatoria, quedando como sobresalientes 10 líneas S₅, mismas que se recombinaron y las cuales formaron la población motivo del presente trabajo.

Cuadro 3.1. Genealogía del material parental utilizado para producir las progenies evaluadas en la población precoz.

Línea	Genealogía
1	AN7-25-5-1
2	(P22 S3-5-A-AxVS201)-2-27-1-1-1-1
3	(CAFIME C10x2321011-1-A)-10-1-1-10-1-B
4	(CAFIME C10x2321011-1-A)-15-4-3-2-A-B
5	(CAFIME C10x4346)-13-1-1-2-A-B
6	(CAFIME C10xAN100-90)-18-2-6-8-A-B
7	(ZAC 58XAN1100-90)-10-3-3-4-A-B
8	VS 201-2-1-1-4
9	(CAFIME xAN100-90)-3-1-B
10	(CAFIMEx346)-4-3-B

Los materiales donadores de precocidad anteriormente mencionados son:

- Zacatecas 58. Es un criollo de maíz originario de la región temporalera de los llanos de Zacatecas, el tipo de mazorca es de la raza cónico norteño, siendo su principal característica la precocidad que le permite evadir la sequía.
- Cafime. Se trata de una variedad sintética que se forma a partir de líneas derivadas, principalmente de la raza bolita, que presenta adaptación en alturas desde 1100 a 1800 msnm.
- VS – 201. Se trata de una variedad sintética formada a partir de líneas S₁, derivadas de Cafime. En donde las características de la planta son muy similares a esta.

- Zapalote chico. Es un maíz de la raza zapalote, propia del Istmo de Oaxaca, tiene una gran plasticidad y una adecuada precocidad, además de presentar un excelente porte de planta.

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 una 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 del cultivo 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 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 urea (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 (FF, FM). 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 de la vertical.
7. Acame de Tallo (AT). Por ciento de plantas en la parcela que presentan 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 de la mazorca, enfermedades, daño por insectos, calidad del tallo, etc; para ello se utilizó una escala del uno al cinco, donde el uno es lo mejor y cinco es lo 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 lo óptimo y cinco es lo peor.
10. Cobertura de Mazorca (CM). Por ciento de mazorcas 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 colocan 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.

Para estimar el rendimiento, se utilizó la siguiente metodología:

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 Johns, 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} .

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

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.

1000 = Coeficiente para obtener el rendimiento en ton ha^{-1} .

10 000 m^2 = Superficie de una hectárea.

Análisis Dialélico

Basándose en el análisis propuesto por Griffing (1956), se utilizó el Diseño 4 (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 la craza con progenitores i, j.

μ = Media general

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

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

y_k = Efecto de la k - ésima repetición

e_{ijk} = Error experimental

$$i = 1, 2, \dots, p$$

$$p = 10$$

$$j = 1, 2, \dots, p$$

$$r = 2$$

$$k = 1, \dots, r$$

$$i < j$$

Se practicó el análisis de varianza en la localidad (Cuadro 3.2) de acuerdo a las especificaciones para el diseño 4 de Griffing.

Cuadro 3.2. Cuadro indicativo del análisis de varianza dialélico.

Efecto	G.L	SC	CM
Bloques	$r - 1$	$\frac{E 2Y^2_{..} - 2Y^2_{..}}{P(p - 1) \quad rp (p-1)}$	
Cruzas	$\frac{p(p - 1) - 1}{2}$	$\frac{EY^2_{ij.}}{r} - \frac{2Y^2_{..}}{rp(p-2)}$	
ACG	$p - 1$	$\frac{EG^2_{i.}}{r (p-2)} - \frac{4Y^2_{..}}{rp(p-2)}$	Mg
ACE	$\frac{p(p - 3)}{2}$	SC (Cruzas) - SC (ACG)	Me
Error	Por diferencia	Por diferencia	Error
Total	$\frac{rp (p - 1) - 1}{2}$	$EE E Y^2_{ijk} - \frac{2Y^2_{..}}{rp (p-1)}$	

Los efectos se estimaron de la siguiente forma:

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

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

Donde:

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

S_{ij} = Aptitud combinatoria 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.

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

Estimaciones de Aptitud Combinatoria

La estimación de los efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) y Específica (ACE) con la finalidad de determinar el comportamiento genético de los progenitores y las cruces, se realizó con las medias 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

Hembras ACG = $(X_3 - X_2)$

Donde:

X_3 = media del rendimiento del progenitor hembra

X_2 = media general

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

Donde:

X_1 = media de rendimiento de la craza

X_2 = media general

GP_1 = ACG del progenitor 1

GP_2 = ACG del progenitor 2

Además también se calculó el coeficiente de variación (CV), para determinar la variación entre los datos experimentales que intervinieron en el

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

análisis de varianza; mediante la formula siguiente:

Donde:

CV = Coeficiente de variación

CMEE = Cuadrado medio del error experimental

\bar{X} = Media general

A partir de los componentes de varianza estimados se calcularon los valores porcentuales de heredabilidad en sentido estricto h^2 y para cada uno de los caracteres evaluados, mediante las fórmulas siguientes:

Análisis individual:

$$h^2 = \frac{\sigma^2_A}{\sigma^2_F}$$

Donde:

$$\sigma^2_F = \sigma^2_A + \sigma^2_D + \sigma^2_E$$

Análisis combinado:

$$h^2 = \frac{\sigma^2_A}{\sigma^2_F}$$

Donde:

$$\sigma^2_F = \sigma^2_A + \sigma^2_D + \sigma^2_{AL} + \sigma^2_{DL} + \sigma^2_E$$

Predicción del Comportamiento de Híbridos Simples en la Siguiete Generación.

La estimación del comportamiento de híbridos simples en la siguiente generación se realizó de la siguiente manera:

Se calculó de la heredabilidad en sentido amplio con finalidad la de calcular el coeficiente de determinación genética de los híbridos generados a través de cruzas.

Este coeficiente de determinación genética nos ayudó a predecir el rendimiento de los híbridos en la siguiente generación (Van Vleck, 1983; Linch y Walsh, 1998). La predicción se llevó a cabo mediante la siguiente fórmula.

$$P = H^2 (R - \bar{X}) + \bar{X}$$

Donde:

$H^2 (R - \bar{X})$ = Superioridad del híbrido.

H^2 = Coeficiente de determinación genética.

R = Media de rendimiento de la cruza.

\bar{X} = Media general de las cruzas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos del análisis de varianza para el diseño dialélico se concentran en el Cuadro 4.1, correspondientes 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 precoz, evaluada en la localidad de Celaya, Gto. (1999)

FV	GL	DFM	DFF	ALPA	ALMA	RE (Ton ha ⁻¹)
Rep.	1	78.400 **	78.400 **	1604.444 ^{NS}	380.278 ^{NS}	7.293 ^{NS}
Cruzas	44	21.772 **	19.067 **	446.310 ^{NS}	359.627 ^{NS}	9.607 ^{NS}
ACG	9	88.822 **	76.572 **	700.531 ^{NS}	924.094 **	19.794 **
ACE	35	4.530 ^{NS}	4.280 ^{NS}	1380.938 ^{NS}	214.479 ^{NS}	6.988 ^{NS}
Error	44	3.855	3.786	416.376	234.823	6.255
Medias		75.578	77.022	245.356	155.567	13.858
CV (%)		2.60	2.53	8.32	9.85	18.05
$\sigma^2 D$		0.337	0.246	-17.718	-10.172	0.317
$\sigma^2 A$		10.536	9.036	39.949	88.701	1.601
$\sigma^2 E$		3.854	3.786	416.376	234.823	6.355
$h^2 \%$		0.968	0.948	0.179	0.493	0.333

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

NS = no significativo

En dicho cuadro se observa que las cruzas mostraron diferencias altamente significativas para las variables días a flor masculina y femenina, siendo no significativas para altura de planta, altura de mazorca y rendimiento; las diferencias significativas dan a entender que existe una gran variación en la constitución genética de los progenitores y ello permitiría que al cruzar dos líneas altamente contrastantes originen híbridos con capacidad heterótica.

En lo que respecta a la ACG, se observa que fuera de la variable de altura de planta, todas las demás muestran alta significancia, ello indica que la ACG propia de las líneas es diferente entre ellas.

En cuanto a la ACE, ninguna variable en estudio se encontró significancia, esto concuerda con los estimados de varianza donde se puede observar que existe muy poca varianza de dominancia en relación a la aditiva.

Respecto a los componentes de varianza genética, se observa que para todas las variables de estudio fue de gran importancia la varianza aditiva y solamente para las variables de días a flor masculina, días a flor femenina y rendimiento fue de gran importancia la varianza de dominancia, lo anterior nos permite identificar líneas que produzcan híbridos altamente rendidores y líneas a las cuales podamos aplicar algún esquema de mejoramiento recurrente.

La heredabilidad en sentido estrecho fue alta para todas las variables y principalmente para altura de planta y altura de mazorca quienes presentaron 0.179 y 0.493 respectivamente.

El coeficiente de variación en los diferentes caracteres estudiados en la localidad fueron relativamente bajos, ya que solo en rendimiento se tiene un CV máximo de 18%, esto nos permite confianza en los procedimientos experimentales

Rendimiento

Efectos de Aptitud Combinatoria General

Los estimadores de los efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) para rendimiento de grano (ton ha^{-1}) de las diez líneas, se presentan en el Cuadro 4.2, en donde la línea cinco registró el valor más alto de ACG ($1.691 \text{ ton ha}^{-1}$), mientras que el valor más bajo lo obtuvo la línea nueve ($-1.460 \text{ ton ha}^{-1}$).

Los valores de ACG son indicativos de que en cuánto superan a la media general, el comportamiento de un progenitor en promedio en una serie de cruzamientos donde interviene, o en el caso contrario, en cuanto supera la media general el comportamiento de un progenitor en una serie de cruzamientos. Basándonos en el Cuadro 4.2; Del total de líneas se encontraron efectos positivos y negativos de ACG, de acuerdo con esto, las líneas con mejor efecto de ACG fueron: la uno, siete y tres, con valores de 1.691 , 1.052 y $0.872 \text{ ton ha}^{-1}$ respectivamente.

Cuadro 4.2. Efecto de ACG para rendimiento de grano en ton ha^{-1} de diez líneas precoces de maíz.

Líneas	Media	ACG	❖
1	14.407	0.618	5
2	13.696	-0.182	6
3	14.633	0.872	3
4	13.026	-0.937	7
5	15.361	1.691	1
6	14.414	0.625	4
7	14.793	1.052	2
8	12.849	-1.135	8
9	12.560	-1.460	10
10	12.842	-1.143	9

❖ = Lugar ocupado atendiendo a sus valores de ACG

Efectos de Aptitud Combinatoria Específica

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 2x3 (3.125) con un rendimiento promedio de $17.673 \text{ ton ha}^{-1}$, mientras que la cruce 1x2 obtuvo el menor valor de ACE (-6.912) y con una media de rendimiento de $7.381 \text{ ton ha}^{-1}$. Es posible también observar que en la mejor cruce 2x3 no interviene ninguna de las dos líneas que obtuvieron los valores más altos de ACG (líneas cinco y siete), en cambio se observa que en esta misma cruce, la línea 2 tiene un valor bajo de ACG (-0.182) y la línea 3 con un valor de 0.872 y en combinación dan un valor de ACE de 3.125, con rendimiento promedio de $17.673 \text{ ton ha}^{-1}$. Por otro lado, la cruce 5x7 que comprende a las líneas con mejores efectos de ACG (1.691 y 1.052 respectivamente), con rendimiento promedio de $14.178 \text{ ton ha}^{-1}$, en combinación dan un valor de ACE de $-2.322 \text{ ton ha}^{-1}$, o sea 2.322 toneladas de rendimiento por debajo de la media general. Lo anterior da a entender que la cruce con mejor efecto de ACE no se dan por las líneas que tienen los mejores valores 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 interacción entre loci como lo mencionan Cockerham (1963) y Kambal y Wester (1965).

Volviendo al Cuadro 4.3, y basándose en el mejor valor de ACE, las mejores cruces fueron: 2x3, 8x10, 1x6, 4x7, 1x5, y 1x4; con valores de 3.125, 2.593, 1.968, 1.848, 1.810 y $1.743 \text{ ton ha}^{-1}$ respectivamente.

Cuadro 4.3 Efecto de ACE para rendimiento de grano en ton ha⁻¹ de las 45 cruzas evaluadas en la localidad de Celaya, Gto. (1999).

Cruzas		ACE	Media	◆
1	2	- 6.912	7.381	45
1	3	0.994	16.342	11
1	4	1.743	15.282	6
1	5	1.810	17.976	5
1	6	1.968	17.069	3
1	7	- 0.607	14.921	36
1	8	- 0.424	12.917	30
1	9	0.774	13.790	14
1	10	0.653	13.986	15
2	3	3.125	17.673	1
2	4	0.482	13.221	20
2	5	1.568	16.934	7
2	6	0.878	15.179	13
2	7	1.070	15.798	9
2	8	0.275	12.815	24
2	9	- 0.482	11.734	31
2	10	- 0.004	12.529	27
3	4	- 0.005	13.789	28
3	5	0.404	16.825	22
3	6	0.414	15.769	21
3	7	- 0.572	15.211	35
3	8	0.077	13.672	26
3	9	- 0.834	12.436	37
3	10	- 3.604	9.984	44
4	5	- 0.510	14.102	32
4	6	- 1.607	11.940	40
4	7	1.848	15.822	4
4	8	- 1.772	10.015	41
4	9	- 1.388	10.074	39
4	10	1.208	12.987	8
5	6	- 0.897	15.277	38
5	7	- 2.323	14.278	43
5	8	- 0.568	13.846	34
5	9	1.063	15.152	10
5	10	- 0.547	13.859	33
6	7	0.340	15.875	23
6	8	0.208	13.556	25
6	9	0.541	13.564	17
6	10	- 1.844	11.497	42
7	8	- 0.083	13.692	27
7	9	- 0.293	13.156	28
7	10	0.618	14.386	16
8	9	- 0.307	10.956	29
8	10	2.593	14.174	2
9	10	0.925	12.181	12

- ◆ Lugar ocupado atendiendo a sus 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 la variable Días a Floración Femenina, en donde se observa que las líneas 7 y 1 presentan valores de 2.538 y 2.480 respectivamente, aumentando el tiempo en días a floración por arriba de la media que son 79 días para ambas líneas; mientras que, las líneas 8 y 10 tienen los valores más bajos de ACG con -2.650 y -3.400, respectivamente, lo que indican una reducción en los días a floración.

En general podemos decir que las líneas 10, 8 y 4 resultan ser más precoces, pero su capacidad para transmitir tal carácter a su descendencia es baja; en cambio, las líneas 1, 7 y 3 tienen buena capacidad para transmitir dicho carácter a su descendencia, además son relativamente tardías considerando que entre la línea más precoz y la más tardía existe una diferencia de cinco días con respecto a la media.

Cuadro 4.4 Efecto de ACG para días a floración femenina de diez líneas precoces de maíz.

Líneas	Media	ACG	❖
1	79	2.480	2
2	78	0.663	5
3	79	1.723	3
4	75	-2.088	8
5	78	1.600	4
6	77	0.350	6
7	79	2.538	1
8	75	-2.650	9
9	76	-1.213	7
10	74	-3.400	10

❖ = Lugar ocupado atendiendo a sus valores de ACG

Efecto de Aptitud Combinatoria Específica

Los efectos de ACE para Días a Floración Femenina, se presentan en el Cuadro 4.6, en el cual destacan las cruzas 1X9 y 8X10 con valores de ACE de 3.215 y 3.028, con medias de 82 y 74 días respectivamente; seguidas de las cruzas 2X5, 6X8, 3X10 y 2X4 con valores de 1.715, 1.278, 1.153 y 1.090, y medias de 81, 76, 73 y 81 días respectivamente. Lo anterior indica que las seis cruzas muestran precocidad favorable en los días a floración. Mientras tanto, las cruzas 1X3, 2X9 y 5X8, (3.722, 2.972 y 2.472) mostraron los efectos más bajos de ACE.

Cuadro 4.5 Efecto de ACE para Días a Floración Femenina

CRUZAS		MEDIAS	ACE	❖
1	9	82	3.215	1
8	10	74	3.028	2
2	5	81	1.715	3
6	8	76	1.278	4
3	10	77	1.153	5
2	3	81	1.090	6
3	6	80	0.903	7
6	9	77	0.840	8
4	7	78	0.840	9
1	2	81	0.840	10
.
.
.
.
.
4	9	73	-1.222	40
2	8	74	-1.535	41
6	10	72	-1.972	42
5	8	74	-2.472	43
2	9	74	-2.972	44
1	3	78	-3.722	45

❖ = 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 1 y 7 presentan los mejores efectos de ACG con 2.788 y 2.275, con medias de 78 días a floración para ambas líneas, por lo tanto tienen buena capacidad para transmitir dicha característica a su progenie. Mientras tanto, las líneas 10, 8 y 4 presentan valores de ACG de -3.400, -2.963 y -2.275 respectivamente. Observando las medias de las diez líneas de maíz, nos damos cuenta que entre la línea más precoz (línea 10 = 73 días) y la línea más tardía (línea 1=78 días) existe un rango de cinco días de diferencia, apreciándose que las líneas más precoces presentan baja ACG y las líneas tardías la mejor ACG, esto ocurre igual con la ACG de días a flor femenina, por lo tanto, dado que el rango de medias de DFM es mínimo, podemos decir que las líneas que muestran buen efecto de ACG también muestran precocidad, y que los días a flor masculina están estrechamente correlacionados con los días a flor femenina.

Cuadro 4.6 Efecto de ACG para días a floración masculina de diez líneas precoces de maíz.

Líneas	Media	ACG	❖
1	78	2.788	1
2	76	0.788	5
3	77	1.850	3
4	74	-2.275	8
5	77	1.663	4
6	76	0.350	6
7	78	2.275	2
8	73	-2.963	9
9	74	-1.526	7

10	73	-3.400	10
----	----	--------	----

❖ = Lugar ocupado atendiendo a sus valores de ACG

Efectos de Aptitud Combinatoria Específica

Los efectos de ACE para días floración masculina se concentran en el Cuadro 4.7, donde el mejor efecto lo aportó la combinación 8X10 (3.285) con un promedio de 71 días, mientras que la craza 1X3 obtuvo el menor valor de ACE (-3.715) y una media de 77 días. Sin embargo, los valores de ACG nos indican que las líneas que mostraron mayor precocidad según su media, fueron las líneas 8 y 10 y que al combinarse aportaron el mejor efecto de ACE, destacando como la mejor craza, esto nos corrobora una vez más que la ACE estuvo influenciada por los efectos no aditivos de los genes. Por lo tanto, las cruza que le prosiguieron a la craza 8X10 fueron las cruza: 1X9, 2X5, 3X10 y 5X7 con valores de ACE de 3.160, 1.972, 1.472 y 1.035 respectivamente.

Cuadro 4.7 Efecto de ACE para días a floración masculina.

CRUZAS		MEDIAS	ACE	❖
8	10	73	3.285	1
1	9	80	3.160	2
2	5	80	1.972	3
3	10	76	1.472	4
5	7	81	1.035	5
6	8	74	1.035	6
2	4	75	0.910	7
1	2	80	0.847	8
2	3	79	0.785	9
5	9	77	0.785	10
.
7	10	74	1.403	41
6	10	71	2.028	42
5	8	72	2.778	43
2	9	72	3.340	44
1	3	77	3.715	45

❖ = Lugar ocupado atendiendo a sus valores de ACE

Altura de Planta (AP)

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 1, 5 y 3 con valores de 10.538, 9.538 y 4.600 respectivamente, indicando con ello su buena capacidad para transmitir tal característica a su progenie, aunque se da un aumento relativo de la altura de la planta por arriba de su media respectiva.

Por otro lado, vemos que las líneas que aportaron los valores más bajos de ACG fueron las líneas 9, 8 y 10 con valores de -10.588, -5.400 y -3.213 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 sus respectivas medias.

Cuadro 4.8 Efecto de ACG para altura de planta de diez líneas precoces de maíz

Líneas	Media	ACG	❖
1	255	10.538	1
2	246	0.288	4
3	249	4.600	3
4	242	-4.150	8
5	254	9.538	2
6	245	-0.213	5
7	244	-1.400	6
8	241	-5.400	9
9	236	-10.580	10
10	243	-3.213	7

❖ = Lugar ocupado atendiendo a sus valores de ACG

Efecto de Aptitud Combinatoria Específica

En el Cuadro 4.9 se muestran los efectos de ACE para las 45 cruzas evaluadas y podemos observar que las cruzas con mejores efectos de ACE son: 1X4, 4X7, 2X3 y 1X9 con valores de 20.757, 20.194, 17.757 y 17.194 respectivamente. Mientras que las cruzas que obtuvieron los valores más bajos de ACE fueron: 1X2, 4X8, 2X9 y 3X10 con valores de -33.681, -25.806, -22.556 y -19.243.

Cuadro 4.9 Efecto de ACE para altura de planta.

CRUZAS	MEDIAS	ACE	❖
1 4	273	20.757	1
4 7	260	20.194	2
2 3	270	19.757	3
1 9	263	17.194	4
7 9	250	16.632	5
2 10	258	15.069	6
5 10	265	13.319	7
2 8	250	6.757	8
2 6	255	9.569	9
5 9	253	8.194	10
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
5 7	235	-18.493	41

3	10	228	-19.243	42
2	9	213	-22.556	43
4	8	210	-25.806	44
1	2	223	-33.681	45

❖ = 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, con valores de ACG fueron: la 1, 5, 3 y 6 con valores de 11.863, 9.925, 4.800 y 4.363 respectivamente, estos valores aumentan la altura de mazorca. Mientras tanto, las líneas 10, 9, 4 y 8 muestran los valores más bajos de ACG, siendo estos de -10.013, -9.513, -5.763 y -3.138 respectivamente, estos valores reducen la altura.

Cuadro 4.10 Efecto de ACG para altura de mazorca de diez líneas precoces de maíz.

Líneas	Media	ACG	❖
1	166	11.863	1
2	164	-0.388	5
3	160	4.800	3
4	159	-5.763	8
5	155	9.925	2
6	154	4.363	4

7	153	-2.138	6
8	150	-3.138	7
9	147	-9.513	9
10	147	-10.013	10

❖ = Lugar ocupado atendiendo a sus valores de ACG

Efecto de Aptitud Combinatoria Específica

En el Cuadro 4.11 donde se concentran los valores de ACE, se observa que la craza más sobresaliente para la característica altura de mazorca es la 5X9 (21.521) y con media de altura de 178, esto indica que la ACE aumenta la altura por arriba de su media.

Por otro lado, observamos que el efecto más bajo de ACE lo obtuvo la combinación 1X2 (-22.042) y con media de altura de 145, lo cual indica en cuanto se reduce la altura por debajo de su media.

Cuadro 4.11 Efecto de ACE para Altura de Mazorca.

CRUZAS		MEDIAS	ACE	❖
5	9	178	21.521	1
2	3	180	20.021	2
5	7	178	14.146	3
1	4	175	13.333	4
4	6	148	10.833	5
1	8	175	10.708	6
8	10	153	10.083	7

2	6	168	7.958	8
1	3	180	7.771	9
5	10	163	7.021	10
.
.
.
.
1	7	153	-12.792	41
5	6	155	-14.854	42
3	5	155	-15.292	43
3	10	135	-15.354	44
1	2	145	-22.042	45

❖ = Lugar ocupado atendiendo a sus valores de ACE

Predicción del Comportamiento de Híbridos Simples en la Siguiete Generación.

Una vez observado el comportamiento genético que siguen los progenitores e híbridos a través de los caracteres evaluados, es importante observar el comportamiento que seguirán en futuras evaluaciones. La superioridad del híbrido es otra medida que nos ayuda a estimar la ganancia en rendimiento de los caracteres que se evalúan. En el Cuadro 4.12 es posible observar que la craza 1X5 fue la más rendidora con una ganancia de 0.955 ton ha⁻¹, prediciendo que en el siguiente ciclo esta craza pueda lograr un rendimiento de 14.813 ton ha⁻¹, seguida de las cruza 2X3 y 1X6 que obtuvieron 0.885 y 0.745 ton ha⁻¹; respectivamente. Por otro lado se observa que la craza menos prometedor fue la 1X2, ya que obtuvo una superioridad genética de -1.503 con un rendimiento de 12.355 ton ha⁻¹.

Esta predicción está muy cercana a lo que en realidad se esperaría, ya que para su estimación se toman en cuenta los efectos genéticos y los efectos ambientales que afectaron el comportamiento de los materiales y se realizó una regresión en donde se muestra que tanto el valor más alto como el más bajo de la predicción tienden a aproximarse a la media general.

Cuadro 4.12 Comportamiento de Híbridos Simples en la Siguiete Generación

No.	CRUZA	RENDIMIENTO	SPH	PREDICCION
1	1X2	7.381	-1.503	12.355
2	1X3	16.342	0.576	14.434
3	1X4	15.282	0.330	14.188
4	1X5	17.976	0.955	14.813
5	1X6	17.069	0.745	14.603
6	1X7	14.921	0.247	14.105
7	1X8	12.917	-0.218	13.640
8	1X9	13.790	-0.016	13.842
9	1X10	13.986	0.030	13.888
10	2X3	17.673	0.885	14.743
11	2X4	13.221	-0.148	13.710
12	2X5	16.934	0.714	14.572
13	2X6	15.179	0.306	14.164
14	2X7	15.798	0.450	14.308
15	2X8	12.815	-0.242	13.616
16	2X9	11.734	-0.493	13.365
17	2X10	12.529	-0.308	13.550
18	3X4	13.789	-0.016	13.842
19	3X5	16.825	0.688	14.546
20	3X6	15.769	0.443	14.301
21	3X7	15.211	0.383	14.172
22	3X8	13.672	-0.043	13.815
23	3X9	12.436	-0.330	13.528
24	3X10	9.984	-0.899	12.959
25	4X5	14.102	0.057	13.915
26	4X6	11.940	-0.445	13.413
27	4X7	15.822	0.456	14.314
28	4X8	10.015	-0.892	12.966
29	4X9	10.074	-0.878	12.980
30	4X10	12.987	-0.202	13.656

31	5X6	15.277	0.329	14.187
32	5X7	14.278	0.097	13.955
33	5X8	13.846	-0.003	13.855
34	5X9	15.152	0.300	14.158
35	5X10	13.859	0.000	13.858
36	6X7	15.875	0.468	14.326
37	6X8	13.556	-0.070	13.788
38	6X9	13.564	-0.068	13.790
39	6X10	11.497	-0.548	13.310
40	7X8	13.692	-0.039	13.819
41	7X9	13.157	-0.163	13.695
42	7X10	14.386	0.122	13.980
43	8X9	10.956	-0.673	13.185
44	8X10	14.174	0.073	13.931
45	9X10	12.181	-0.389	13.469

SPH = Superioridad Genética del Híbrido

PREDICCIÓN = Predicción del Híbrido

Media General de las Cruzas = 13.858

Predicción de Híbridos Triples

Una vez que se han seleccionado líneas de alta ACG, se procede teóricamente a formar cruzas simples y con ellas la formación de híbridos triples, con su predicción de rendimiento, utilizando el método B de Jenkins (1934). De acuerdo al Cuadro 4.2, donde se concentran las diez líneas con sus valores de ACG en donde, las mejores líneas fueron: 5, 7, 3, 6, 1; y a partir de estas líneas se formaron treinta híbridos triples, proporcionando a continuación las que manifestaron mayor rendimiento.

Cuadro 4.13 Cruzas triples predichas para rendimiento, días a flor masculina, días a flor femenina, altura de planta y altura de mazorca.

CRUZA	RENDIMIENTO	DÍAS A FLOR MASCULINA	DÍAS A FLOR FEMENINA	ALTURA DE PLANTA	ALTURA DE MAZORCA
(5X6)X1	17.523	80	81	262	173
(1X3)X5	17.401	80	82	267	163
(3X5)X1	17.159	79	80	267	175
(3X6)X1	16.706	78	79	260	178
(1X6)X5	16.625	79	80	259	163
(1X5)X3	16.584	78	80	265	168
(1X7)X6	16.472	79	80	248	163
(5X7)X1	16.449	81	82	254	162
(1X3)X6	16.419	79	80	255	169
(5X6)X3	16.297	79	80	260	159

Como se puede observar, la mejor cruza triple predicha es la (5X6)X1 con un rendimiento de 17.523 ton ha⁻¹, seguida de las cruzas (3X1)X5 y (5X3)X1 con rendimientos de 17.401 y 17.159 ton ha⁻¹, respectivamente. Con esto podemos decir que los híbridos predichos son una posibilidad de explotar comercialmente el vigor híbrido que se manifiesta en las cruzas simples, que por su condición e implicaciones no son factibles de explotarse comercialmente; pero sobre todo, son híbridos altamente precoces capaces de sobresalir en regiones con baja precipitación pluvial aportando rendimientos satisfactorios.

Estimación de Varianzas

A continuación se presentan los estimados de varianza aditiva y de dominancia en la localidad evaluada de Celaya, Guanajuato.

De los resultados de los componentes de varianza genética (Cuadro 4.14) se puede observar que la característica de rendimiento, presenta varianza aditiva; lo anterior es una evidencia de que existe una mayor contribución de efectos aditivos para esta variable, quien muestra características de que son heredables. Por otra parte, la varianza aditiva también muestra características favorables para días a floración masculina y femenina, cuyos valores muestran afinidad, indicando con ello la gran correlación existente entre estas dos variables.

Por lo que respecta a la varianza de dominancia, las variables de rendimiento, días a flor femenina y masculina, muestran en cierto grado un efecto positivo de dominancia, lo cual puede ser aprovechado en un programa de hibridación. Por último y en general, la varianza aditiva se manifestó en mayor grado que la varianza de dominancia para las cinco características argonómicas evaluadas.

Cuadro 4.14 Estimado de varianza aditiva y de dominancia.

F.V	RTO	DFM	DFF	ALPA	ALMA
$\sigma^2 D$	1.601	10.536	9.036	39.949	88.701
$\sigma^2 A$	0.317	0.337	0.246	-17.718	-10.172

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. Los progenitores que presentan mejores efectos de ACG para la característica de rendimiento son: el 5, 7 y 3; en cuanto a floración, los que originan progenies precoces tanto para floración masculina como para floración femenina dada su similitud, fueron las líneas 1, 7 y 3.
2. Respecto al objetivo de estimar varianza aditiva y varianza de dominancia para las variables agronómicas; la población a formarse con el material evaluado contendrá mayor varianza aditiva para las características de DFM, DFF, ALPA, ALMA y RTO, a la cual se le puede aplicar un esquema de mejoramiento recurrente en donde se acumulen los efectos aditivos presentes en las variables agronómicas evaluadas. En cuanto a las variables DFM, DFF y RTO se muestran un efecto positivo en la varianza de dominancia, en donde se podría explotar los efectos no aditivos con algún programa de hibridación o selección recíproca recurrente.
3. Las mejores cruzas evaluadas y seleccionadas en base a su buen potencial de rendimiento son: 1x5, 2x3 y 1x6.
4. El mejor híbrido triple predicho es el formado por la crusa simple 5X6 y la línea1.

LITERATURA CITADA

- Allard, R. W. 1960. Principios de la mejora genética de las plantas. Editorial Omega S. A. Barcelona España.
- Baker, R. J. 1978. Issues in diallel analysis. *Crop Sci.* 18:533-536.
- Becker, W. A. 1986. Manual de genética cuantitativa. Primera edición en español. Academic Enterprises. Pullman, WA. USA. 174 p.
- Castro, G. M., C.O. Gardner and J. H. Lonquist. 1968. Cumulative gene effects and nature of heterosis in maize crosses involving genetically diverse races. *Crop Sci.* 8:97-101.
- Chávez A., J. L., 1995. Mejoramiento de plantas 2. Trillas. México, D. F. 143 p.
- Cockerham, C. 1963. Estimate of genetic variances In: Hanson, W. D. and H. F. Robinson (eds). *Statistical genetics and plant breeding*. Publ. 82. Nat'l. Acad. Sci.- Nat'l. Res. Council. Washinton, D. C., USA. p. 53-93.
- Córdova, H. R. and H. R. Mickelson. 1995. CIMMYT. Maize program internally managed external review of breeding Strategies and Methodologies. El Batán México. p. 6.
- De León C., H y H. Reyes V. 1991. Estimación de la habilidad combinatoria en cruza simples de maíz. En: II Congreso Nacional de Genética. 1991. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. p. 3.
- Dudley, J. W., and R. H. Moll. 1969. Interpretation and use of estimates of heritability and genetic variances in plant breeding. *Crop Sci.* 9(3):257-262.
- Falconer, D. S. 1983. Introducción a la genética cuantitativa. Décimo tercera edición. CECSA. México. 430 p.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- Guevara, S. L. Análisis dialélico de doce híbridos comerciales de maíz para su caracterización genética. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.

- Hallauer, A. R. and J. B. Miranda. 1981. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press. 468 p.
- Hayes, H. K., F. R. Immer and D. c. Smith. 1954. Methods of plants breeding. Second edition. MacGraw Hill Book Company Inc. 551 p.
- Jenkins, M. T. 1934. Methods of estimating the performance of double crosses in corn. J.Am. Soc. Agron. 26:199-204.
- Jugenheimer, R. W. 1990. Maíz, variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Ed. Limusa, México.
- Kambal, A. E., and O. J. webster. 1965. Estimates of general and specific combining ability in grain sorghum. Crop. Sci. 5:521-523.
- Márquez, S. F. 1988. Genotecnia vegetal. Métodos, teoría, resultados. Tomo II. AGT Editor, S. A. México. 665 pp.
- Martínez, G., A. 1975. Diseños y análisis de experimentos de cruzas dialélicas. Centro de estadística y Cálculo. Colegio de Postgraduados. México. 255p.
- Namkoong, G. 1979. Introduction to quantitative genetics in forest. USDA. Forest service. Technical Bulltin No. 1588. USA. 342 p.
- Poehlman, M. J. 1974. Mejoramiento genético de las cosechas. 1 ed. LIMUSA. México. 453 p.
- Poehlman, M. J. 1981. Mejoramiento genético de las cosechas. Editorial Limusa. Séptima reinpresión. México D. F. p. 54.
- Rojas, B. and G. F. Sprague. 1952. A comparicsion of variance components in corn yield trials. III. General an specific combining ability and their interaction with locations and years. Agron. Journal 44:462-466
- Sprague, G. F. and L. A. Tatum. 1942. General V. S. Specific combining ability in single crosses of corn. Agron. J. 34:923-932.
- Terrón, L., A. D. 1981. Análisis e interpretación de cruzas dialélicas en variedades tropicales de maíz adaptadas a Nayarit. Tesis profesional. Escuela de Agricultura. Universidad de Guadalajara, Jal. México. 52 p.

- Vasal, S. K., *et al.* 1987. Heterosis y aptitud combinatoria en germoplasma tropical de CIMMYT. Boletín. El Batán, Texcoco. Edo. de México.
- 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). Perú Simposio.
- Villanueva, F. Castillo G. y J. D. Molina G. 1994. Aprovechamiento de cruzamientos dialélicos entre híbridos comerciales de maíz: Análisis de progenitores y cruza. Rev. Fitotec. Mex. 17:175-185.
- Villanueva, V, C, S. Villanueva R y E. Sánchez G. 1994. Cruzamientos dialélicos entre híbridos comerciales de maíz. Memorias. 11⁰ Congreso Latinoamericano de Genética y XV Congreso de Fitogenética. Monterrey, N. L. 23-25 de septiembre. P.409.