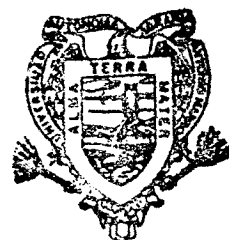


ESTIMACION DE PARAMETROS GENETICOS
EN DOS POBLACIONES DE MAIZ

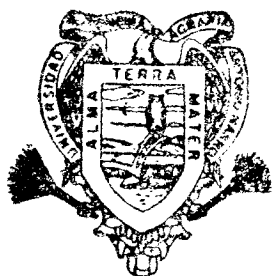
EDUARDO MUSITO RAMIREZ

TESIS

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
EN FITOMEJORAMIENTO



BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBON
BANCO DE TIEMPO
U.A.A.A.N.



Universidad Autónoma Agraria
"Antonio Narro"

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenvista, Saltillo, Coah.

MARZO DEL 2001

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

SUBDIRECCION DE POSTGRADO

ESTIMACION DE PARAMETROS GENETICOS EN DOS POBLACIONES DE
MAIZ

TESIS

Por

EDUARDO MUSITO RAMIREZ

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y
aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:


MAESTRO EN CIENCIAS
EN FITOMEJORAMIENTO

Comité Particular

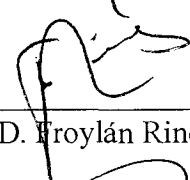
Asesor principal:

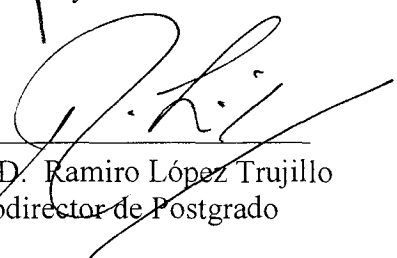

M.C. Humberto De León Castillo

Asesor:


Ph. D. Manuel Humberto Reyes Valdés

Asesor:


Ph. D. Froylán Rincón Sánchez


Ph. D. Ramiro López Trujillo
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Marzo de 2001

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a **Dios Nuestro Señor** por la vida, la familia y los amigos que me brindo, y por enseñarme a comprender que la recompensa no esta en el resultado; si no en el esfuerzo realizado bajo su mirada.

Mi más profundo agradecimiento al Ing. M.C. Humberto de León Castillo, por su apoyo, amistad y acertada asesoría; así como el tiempo dedicado para las dudas que surgieron durante la realización del presente trabajo.

A los Doctores Froylán Rincón Sánchez y Manuel Humberto Reyes Valdés; por sus observaciones y sugerencias en la realización de este trabajo.

Al Ing. Daniel Samano Garduño, por su amistad, atención y valiosa colaboración en la realización del presente trabajo.

A mi estimado Dr. Alfredo de la Rosa Loera, por todo el apoyo brindado durante mi estancia en el Postgrado y por sus observaciones y sugerencias en la presente investigación.

A mis amigos Dante E. Juárez Sedeño, Salvador Barreto Hernández, Martín Vázquez Mérida, Víctor H. Ochoa Antuna, Noé Monroy Arcos., por su gran amistad incondicional que siempre me han demostrado.

A todos mis compañeros y amigos del Postgrado en Fitomejoramiento M.C. Jesús Rodríguez De La Paz, M.C. Flavio Ramos Domínguez, M.C. Fidencio Guerra Roca, M.C. Pedro Haro Ramírez, Ing. Ramiro Vidrio Hernández, Ing. Roberto Dorantes González , Ing. Silverio Hernández, Ing. Guadalupe Guerrero Chávez, Ing. Rosa Guerrero Chávez; con quienes compartí momentos alegres y a quienes les deseo lo mejor en su vida como profesionistas.

A los señores. José Ángel Godina y Teresa Sandoval, por su gran amistad, consejos y atenciones; así mismo por su desinteresada ayuda durante mi estancia en la Universidad.

Al Sr. Jesús Zavala Betancourt, por su amistad demostrada durante todo este tiempo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo económico durante mi estancia en la Maestría en Fitomejoramiento.

!!! A Todos Muchas Gracias !!!

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Sr. Vidal Musito Toríz

Sra. Heriberta Ramírez Úrzua

A quienes debo la vida, quienes me formaron e inculcaron los principios de la superación sin importar condiciones limitantes; y por su invaluable ayuda en cada momento de mi vida.

A MIS HERMANOS:

M^a Elena

José

Reyna

Noé

Benigno

Laura

Eulalio

Gregorio

Guadalupe

Arturo

Alejandra

Ethel

Por su valioso apoyo tanto moral como económico durante todo este tiempo.

COMPENDIO

Estimación de Parámetros Genéticos en Dos Poblaciones de Maíz

POR

EDUARDO MUSITO RAMIREZ

**MAESTRIA EN
FITOMEJORAMIENTO**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO. MARZO 2001**

M.C. Humberto de León Castillo --- Asesor ---

Palabras clave: *Zea mays* L., aptitud combinatoria, heredabilidad, varianzas genéticas, diseño I y II de Carolina del Norte.

Los objetivos de la presente investigación fueron estimar la variación genética para diferentes caracteres agronómicos y heredabilidad, en dos poblaciones de maíz; determinar los efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) de los progenitores y Específica (ACE) de sus cruzas.

Se evaluaron cruzas dobles en tres ambientes, obtenidas de dos poblaciones, una enana y otra precoz, atendiendo el apareamiento requerido por el diseño I de Carolina

del Norte; la evaluación de cruzas simples en dos ambientes de un diseño II de Carolina del Norte; así como el censo total de las poblaciones utilizando un diseño dialélico. Esto para ambas poblaciones. Originando familias de hermanos completos, familias de medios hermanos paternos y maternos; las cuales se sembraron en un diseño bloques al azar con dos repeticiones. Se midieron cinco caracteres agronómicos: días a floración masculina y femenina, altura de planta, altura de mazorca y rendimiento.

Los componentes de varianza genética y heredabilidad estimados en los diferentes caracteres agronómicos, muestran que la población precoz, contendrá una mayor proporción de varianza aditiva en la mayoría de los caracteres evaluados, la cual se puede explotar mediante algún esquema de selección recurrente que acumule los efectos aditivos presentes en los caracteres. Caso contrario sucedió en la población enana, donde resulto mayor la varianza de dominancia en los caracteres altura de planta, altura de mazorca y rendimiento; por lo que se justificaría un programa de hibridación que explote los efectos no – aditivos de dichos caracteres.

De la evaluación en el dialélico, se identificaron líneas con efectos positivos de ACG para rendimiento de grano y además algunas presentaron buenos atributos agronómicos, de las cuales destacaron las L6, L12, L5 y L13, en la población enana, en tanto que en la población precoz sobresalieron las L5, L7, L3, L6 y L1.

Las mejores cruzas para la población enana fueron la 3x13, 4x5, 6x13, 6x10, 4x9, 8x9 y 7x10 en tanto que en la población precoz se identificaron las cruzas 2x3, 8x10, 1x6, 4x7 y 1x5.

ABSTRACT**Estimation of Genetic Parameters in Two Populations of Maize****BY****EDUARDO MUSITO RAMIREZ****MASTER OF SCIENCE
PLANT BREEDING****UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO. MARCH 2001****M. C. Humberto de León Castillo ---Adviser---****Key words: *Zea mays* L., combining ability, heritability, genetic variances,
design I and II of North Carolina.**

The objectives of the present investigation were to estimate the genetic variation for different agronomic characters and heritability in two populations of maize; to estimate the effects of general combining ability (GCA) of parents and specific (SCA) of their crosses.

Double crosses obtained from two populations, one dwarf and the other early, according to the mating design I of North Carolina were evaluated in three environments. Also, single crosses were evaluated in two environments by the design II

of North Carolina, as well as the total census of the populations using a diallelic design, for both populations. The full-sib families and paternal and maternal half-sib families were planted at random in block designs with two repetitions. Five agronomic characters were measured: days to male and female flowering, plant height, ear height and grain yield.

The genetic variance components and heritability estimates from different agronomic characters, showed that the early population contains a high proportion of additive variance in most of the traits evaluated, which can be capitalized by recurrent selection to accumulate additive effects present in the population. The opposite occurred in the dwarf population, where the dominance variance was high on plant height, ear height and yield; therefore it would be justified a hybridization program that exploits the non-additive effects of these traits.

From the diallel evaluation, lines having positive effects of GCA for grain yield, were identified and some of them presented good agronomic attributes, of which the L6, L12, L5 and L13, stand out from the dwarf population, whereas the L5, L7, L3, L6 and L1 stand out from the early population.

Crosses with the best SCA from the dwarf population were 3x13, 4x5, 6x13, 6x10, 4x9, 8x9, and 7x10, whereas 2x3, 8x10, 1x6, 4x7 and 1x5 from the early population.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS -----	x
INTRODUCCION -----	1
Objetivos -----	2
Hipótesis -----	2
REVISION DE LITERATURA -----	4
Patrones heteróticos -----	4
Efectos genéticos -----	6
Aptitud combinatoria general y específica -----	7
Estimaciones de varianzas genéticas -----	9
Diseño I de Carolina del Norte -----	11
Diseño II de Carolina del Norte -----	15
Heredabilidad -----	18
MATERIALES Y METODOS -----	21
Material genético -----	21
Formación de la población precoz -----	22
Materiales donadores de precocidad -----	22
Formación de la población enana -----	23
Forma de cómo se originaron los tratamientos -----	23
Toma de datos -----	25
Diseños estadísticos y genéticos -----	28
Análisis dialélico -----	31
Estimaciones de aptitud combinatoria -----	31
Estimación de parámetros genéticos -----	32
Estimaciones de heredabilidad -----	34
Estimaciones de varianzas y errores estándar -----	35
Significancia de los efectos de ACG y ACE -----	37
RESULTADOS Y DISCUSION -----	39
CONCLUSIONES -----	70
RESUMEN -----	72
LITERATURA CITADA -----	74
APENDICE -----	79

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
3.1	Genealogía del material utilizado para producir las progenies evaluadas en las dos poblaciones. -----	21
3.2	Descripción de localidades de siembra. -----	24
3.3	Forma del análisis de varianza combinado para el diseño genético I de Carolina del Norte. -----	29
3.4	Forma del análisis de varianza individual para el diseño genético I de Carolina del Norte. -----	30
3.5	Forma del análisis de varianza individual para el diseño genético II de Carolina del Norte. -----	30
3.6	Forma del análisis de varianza para el diseño dialélico.-----	31
4.1	Cuadrados medios y componentes de varianza estimados del análisis de varianza combinado de la población enana, evaluada a través de tres ambientes Celaya, Gto., (1998), Tepalcingo, Mor., y Celaya, Gto., (1999). -----	41
4.2	Medias de los caracteres agronómicos evaluados a través de ambientes. -----	42
4.3	Cuadrados medios y componentes de varianza estimados del análisis de varianza combinado de la población precoz, evaluada a través de tres ambientes Celaya, Gto., (1998), Tepalcingo, Mor., y Celaya, Gto., (1999). -----	45
4.4	Medias de los caracteres agronómicos evaluados a través de ambientes. -----	46
4.5	Cuadrados medios del análisis dialélico para la población enana, evaluada en Celaya, Gto. (1999). -----	48
4.6	Efectos de ACG de las líneas evaluadas en el diseño dialélico, para	

Cuadro		Página
	la población enana. -----	50
4.7	Efectos de ACE para rendimiento en la población enana. -----	51
4.8	Cuadrados medios del análisis dialélico para la población precoz, evaluada en Celaya, Gto. (1999). -----	53
4.9	Efectos de ACG de las líneas evaluadas en el diseño dialélico, para la población precoz. -----	54
4.10	Efectos de ACE para rendimiento en la población precoz. -----	55
4.11	Cuadrados medios del análisis de varianza para la población enana, evaluada en Celaya, Gto. (1999). -----	57
4.12	Cuadrados medios del análisis de varianza para la población precoz, evaluada en Celaya, Gto. (1999). -----	59
4.13	Efecto de ACG para rendimiento de grano en ton ha ⁻¹ de los progenitores machos y hembras que intervienen en la formación de las 42 cruzas para la población enana, evaluadas en Celaya, Gto. (1999). -----	61
4.14	Efecto de ACE para rendimiento de grano en ton ha ⁻¹ de las 42 cruzas evaluadas en Celaya, Gto. (1999). -----	62
4.15	Efecto de ACG para rendimiento de grano en ton ha ⁻¹ de los progenitores machos y hembras que intervienen en la formación de las 25 cruzas para la población precoz, evaluadas en Celaya, Gto. (1999). -----	63
4.16	Efecto de ACE para rendimiento de grano en ton ha ⁻¹ de las 25 cruzas evaluadas en Celaya, Gto. (1999). -----	64
4.17	Parámetros genéticos obtenidos de la población enana, evaluada bajo dos sistemas de apareamiento. -----	65
4.18	Parámetros genéticos obtenidos de la población precoz, evaluada bajo dos sistemas de apareamiento. -----	66
A1	Forma de los tres diseños de apareamientos para la población enana. -----	80
A2	Forma de los tres diseños de apareamientos para la población precoz. -----	82

Cuadro		Página
A3	Cuadrados medios y componentes de varianza estimados de los análisis de varianza individuales para la población enana. -----	84
A4	Cuadrados medios y componentes de varianza estimados de los análisis de varianza individuales para la población precoz. -----	86

I. INTRODUCCION

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

El cruzamiento de materiales con características contrastantes incluyendo adaptabilidad proporciona altos niveles de heterosis. Es así como a través del tiempo y de amplias investigaciones se ha logrado identificar una serie de patrones heteróticos en maíz, distinguiéndose algunos por su uso generalizado en la obtención de líneas para la formación de híbridos potenciales tales como: plantas de porte enano vs plantas de porte normal; materiales precoces vs materiales tardíos; maíces con germoplasma tropical vs germoplasma del bajío; maíces dentados vs cristalinos.

Problema Cuando se esta interesado en obtener como producto final híbridos, se requiere tener un patrón heterótico bien definido y manejar cada parte de este patrón por separado. En el presente trabajo se implicó a las poblaciones de un patrón heterótico; una es enana de grano dentado con germoplasma de bajío, y su contraparte es una población normal precoz con germoplasma tropical y alta frecuencia de granos cristalinos. Con el fin de caracterizarlas genéticamente se utilizarán los diseños de apareamiento I y II de Carolina

del Norte, además de un análisis dialéctico. La meta fue sentar las bases para obtener líneas de cada población y posteriormente realizar cruzamientos con altas posibilidades de generación de híbridos sobresalientes.

El motivo de caracterizar estas poblaciones es de estimar la variación genética para los diferentes caracteres agronómicos. Esto es de suma importancia al iniciar cualquier programa de mejoramiento genético, ya que la respuesta a la selección depende de la variación, de la heredabilidad y de la frecuencia de genes presentes en la población. Para los diferentes caracteres que tienen que ver con adaptación y valor comercial.

Objetivos

1. Estimar la variación genética y la heredabilidad para diferentes caracteres agronómicos en dos poblaciones contrastantes de maíz.
2. Determinar la Aptitud Combinatoria General de los progenitores y la Aptitud Combinatoria Específica de sus cruzas.

Hipótesis

1. Los componentes de varianza genética en las dos poblaciones deben ser diferentes para así obtener como resultado de su cruzamiento un alto grado de heterosis.

2. Existen varios métodos de mejoramiento, y la aplicación de la estrategia de mejoramiento adecuado, dependerá de la varianza genética presente en la población.

II. REVISION DE LITERATURA

Patrones Heteróticos

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

*Hallauer (1993) indica que el mejoramiento del maíz incluye dos componentes de igual importancia: 1) elección de germoplasma y 2) desarrollo de líneas para su uso en híbridos.

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

Vasal et al. (1992) formaron un grupo heterótico de maíz para ambientes subtropicales a partir de 88 líneas derivadas de seis poblaciones subtropicales, las cuales

fueron cruzadas con cuatro probadores, cada uno derivado de Pool (complejo genético) 32, población 34, 42 y 44. Las 352 cruzas obtenidas de los cruzamientos de las 88 líneas con los cuatro probadores fueron divididas en cuatro grupos, cada grupo fue compuesto por las combinaciones de 22 líneas con los cuatro probadores dando un total de 88 cruzas. Como resultado de esta investigación se desarrollaron dos grupos (STHG-A Dentado y STHG-B Cristalino) que involucraron un número diferente de líneas.

- △ Ramos y Moreno (1994) mencionan que la identificación de patrones heteróticos y la estimación de parámetros genéticos permiten maximizar la heterosis en cruzas entre poblaciones o en híbridos de líneas puras.

En investigaciones realizadas en CIMMYT, se han logrado identificar diferentes patrones heteróticos. Beck **et al.** (1991) determinaron que para materiales blancos, la Población 42 x la Población 47 expresan un alto grado de heterosis. En cuanto a materiales que expresan buen comportamiento en el subtrópico, la Población 46 combina bien con el Pool 30 de material amarillo precoz. En el trópico, lo más sobresaliente es el patrón heterótico entre Población 21 y la Población 32, cuyos materiales son la combinación de ETO y Tuxpeño. Por otra parte, también presenta buena combinación la Población 21 con las poblaciones 25 y 39. Las interacciones de material tropical con subtropical que presentan buena combinación son la población 32 x 44, 42 x 42, 43 x 44 y la 22 x 47 (Vasal **et al.**, 1992).

Beck **et al.** (1991) evaluaron nueve materiales del CIMMYT con la finalidad de

evaluar la interacción entre poblaciones y complejos genéticos subtropicales, otra investigación fue la de evaluar el potencial de las poblaciones subtropicales y templadas como fuente de germoplasma exótico para programas de mejoramiento de clima templado; padres y cruzas fueron evaluadas en cinco ambientes en México y 11 en los Estados Unidos de América. Se observaron altos efectos de la aptitud combinatoria general (ACG) para rendimiento en las poblaciones 42, 47 y la 34. La craza que presentó mayor grado de heterosis tuvo un 9.1 por ciento, con base en el progenitor más rendidor, y fue la población 42 x 47 con un rendimiento de 7.87 ton ha⁻¹. La población 33 x 45 fue la craza con mayor aptitud combinatoria específica (ACE) para rendimiento en lo que respecta a México. Por otra parte, en los Estados Unidos de América los rendimientos fueron bajos, debido a problemas de adaptación y siembras tardías; sin embargo, las poblaciones que más se adaptaron fueron las 41 y 42, las cuales pueden ser utilizadas como fuente para formar un programa de mejoramiento de clima templado.

Efectos Genéticos

* Córdova et al. (1980) mencionan que a pesar de que los efectos de dominancia contribuyen al rendimiento, éstos son de limitada importancia en poblaciones en equilibrio y apareamiento aleatorio, y por el contrario son de importancia en combinaciones híbridas específicas. Sin embargo, la mayoría de los caracteres de interés para el mejorador de maíz son controlados por un tipo de acción génica aditiva.

Robinson et al. (1951) describen que la variación presente en poblaciones segregantes de maíz, es atribuible a tres fuentes principales: a) efectos genéticos

aditivos; b) efectos no aditivos, debido a dominancia e interacción de genes no alélicos y c) efectos ambientales. Además, estos autores citan que el término variación genotípica sólo se usa para referirse a la variación genética aditiva o heredable, la cual es parte de la variación responsable del resultado de la selección. Sin embargo, muchos otros autores incluyen a los efectos de dominancia y epistasis en el término variación genotípica.

Hallauer y Miranda (1981) presentan un resumen sobre componentes de variación genética para diferentes poblaciones de maíz, en él se puede apreciar que hay una mayor cantidad de varianza aditiva que varianza de dominancia.

△ Diversos investigadores mencionan que la varianza aditiva es el componente genético más importante para rendimiento (Lindsey et al., 1962; Goodman, 1965; Guei and Wassom, 1992).

Aptitud Combinatoria General y Específica

✱ 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 y la aptitud combinatoria específica

(ACE) permite identificar aquellas líneas que en cruzas específicas, manifiestan más alto rendimiento, que difiere de lo que podría esperarse por el promedio de cada línea (Sprague y Tatum, 1942).

✱ El comportamiento de una craza particular puede desviarse de la ACG promedio de las líneas, conociéndose a esta desviación como la aptitud combinatoria específica (Falconer, 1986).

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.

El valor de una línea puede determinarse mediante dos aspectos fundamentales:

a) Las características **per se**, en las que se toma en cuenta rendimiento, vigor, uniformidad, tolerancia al acame, plagas y enfermedades entre otras, y b) La aptitud combinatoria general, es decir, el comportamiento de las líneas en combinaciones híbridas, para luego obtener líneas que reúnan características sobresalientes que más tarde sometidas a pruebas de aptitud combinatoria específica en cruzamientos (Hayes, 1963; Sprague y Eberhart, 1977).

△ La razón para obtener líneas puras con estabilidad genética es lograr repetibilidad del genotipo de generación en generación, aspecto importante desde el punto de vista del mejoramiento genético y de la producción de semilla (Russell, 1991).

△ A medida que se avanza en el número de ciclos de selección recurrente que se aplican a una población, mayor es su capacidad para producir líneas de alto rendimiento y de alta ACG y consecuentemente híbridos más rendidores (Vasal et al., 1995). Lo anterior es uno de los argumentos más importantes que facilitó el uso de cruza simple como híbridos comerciales. El reciclaje de líneas endogámicas y la derivación de nuevas líneas de poblaciones mejoradas permite aminorar de manera la depresión endogámica; para el caso de materiales tropicales evaluados por Reyes (1995), las líneas de mayor ACG para rendimiento, se obtuvieron de compuestos de ciclos más avanzados de selección.

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

☞ Molina y García (1996) señalan que cuando se emplean líneas de alta y baja ACG como probadoras de líneas autofecundadas de maíz, aquellas con baja ACG se muestran como mejores probadoras de las líneas que finalmente se definen como de alta ACG.

Estimación de Varianzas Genéticas

Los componentes de varianza son por definición valores positivos, a pesar de esto, las estimaciones de varianza pueden ser negativas, pudiendo deberse esto a un inadecuado modelo genético para estimar la varianza epistática, muestra inadecuada

(número pequeño), e inadecuada técnica experimental como por ejemplo, competencia entre progenitores (Searle, 1971).

Diferentes procedimientos estadísticos han sido usados para estimar la magnitud relativa de los parámetros genéticos cuantitativos en poblaciones de maíz. Wright et al. (1971) mencionan que generalmente los procedimientos usan la covarianza entre parientes, para subdividir la varianza genética, de tal forma, que el número disponible de covarianzas del diseño de apareamiento determinará el número máximo estimable de parámetros genéticos. De acuerdo a esto, mucha información sobre genética cuantitativa se ha obtenido mediante el uso de diseños de apareamiento que controlan solo los padres de los individuos medidos. Estos tipos de diseños incluyen dos covarianzas entre parientes: 1) covarianza de medios hermanos y 2) covarianza de hermanos completos. Por lo tanto, solo la varianza genética y la varianza de dominancia serán estimadas, suponiendo que no hay epistasis.

Córtez (1977) menciona que las covarianzas entre parientes son de gran importancia en el mejoramiento genético de las plantas, al menos por dos razones:

1. En la mayoría de los casos las covarianzas entre parientes pueden ser expresadas en términos de componentes de varianza genética de la población original a ser mejorada, ya que la varianza entre familias puede en algunos casos ser expresada como funciones lineales de covarianza entre parientes, permitiendo la estimación de los componentes de varianza genética, usando los diseños experimentales y de apareamiento apropiados.

2. El proceso genético de la selección depende básicamente del grado de parentesco (covarianza de parientes) entre la unidad de selección (individuos o familias) y los individuos descendientes de los progenitores seleccionados.

Según Cockerham (1961), la composición en términos de varianzas genéticas está explicada por las covarianzas entre todos los posibles pares de parientes híbridos entre cruzas simples, dobles y triples de un grupo común de padres o líneas parentales. Lo anterior da una base de referencia para contestar muchas preguntas prácticas en un programa de hibridación.

Hallauer (1980) menciona que las estimaciones de los componentes de varianza son estadísticos útiles al mejorador para determinar: 1) La magnitud relativa de la varianza fenotípica debida a efectos genéticos, 2) La proporción relativa de la varianza genética total, atribuida a efectos genéticos aditivos y no aditivos, 3) La respuesta esperada a la selección.

Diseño I de Carolina del Norte

Los diseños genéticos o diseños de apareamiento son planes de cruzamiento entre los individuos de una población, con el objeto de estudiar teóricamente los efectos de las varianzas genéticas que se presentan en las progenies (variables casuales), para enseguida relacionar aquellos con los datos empíricos de tales progenies (variables observables), y poder estimar los parámetros genéticos que interesen. Generalmente estas

son las varianzas genéticas, ambientales y fenotípicas, a fin de obtener estimas de la heredabilidad (en sentido amplio o estrecho), para hacer predicciones de la respuesta a la selección.

Al igual que otros diseños, éste se planteó y analizó en la Universidad de Carolina del Norte. Las derivaciones matemáticas se encuentran en el artículo original de Comstock y Robinson (1948), y la forma del análisis de varianza de los datos empíricos en Comstock y Robinson (1952).

Para poder lograr los objetivos de los diseños genéticos, se hace una serie de supuestos que pueden o no corresponder a las situaciones reales. Esto es así porque de lo contrario, en ocasiones no sería posible llegar a resultado alguno. Tales supuestos son: apareamiento aleatorio, organismos diploides, sólo dos alelos en cada locus, ausencia de epistasis y estado de equilibrio de ligamiento.

El diseño I se aplica a cualquier planta alógama que permita en una población usar plantas como diferentes machos (m) que se crucen, cada una, con una serie de hembras (h), para obtener de cada apareamiento progenies de n plantas. Las progenies de cada macho con sus hembras es una familia de medios hermanos tanto que con cada hembra da lugar a una familia de hermanos completos.

Márquez y Hallauer (1970) estudiaron el efecto del tamaño de muestra para machos y hembras por macho, concluyendo que en un número mínimo de 32 machos y

una muestra de ocho hembras por macho eran adecuados para el carácter rendimiento en maíz. Para esto obtuvieron estimados de los errores estándar de las varianzas aditivas y dominantes para el número ascendente de machos y de hembras por macho, encontrando que en los tamaños de muestra mencionados, los errores estándar tendían a estabilizarse.

Al respecto, Dudley y Moll (1969) sugieren que al menos 256 familias de hermanos completos son necesarias para obtener estimaciones reales de varianza genética aditiva y de dominancia; así mismo, que esas familias necesitan evaluarse al menos en dos años, o bien en dos localidades. Mencionan además, que las estimaciones de varianza genética y heredabilidad, proporcionan una herramienta útil para contestar muchas preguntas las cuales surgen en un programa de mejoramiento.

Sentz (1971) comparó los estimadores de los componentes de varianza usando los diseños I y II en la misma población (bajo el supuesto de que las cruzas usadas en el diseño II eran una muestra aleatoria de la población usada en el diseño I). Este autor encontró que en el diseño I los estimadores de σ^2_A fueron mayores, y que las estimaciones de σ^2_D por lo general resultaron negativas, concluyendo que el diseño II es más sensible que el diseño I y sus estimadores son más reales sobre todo en el caso de σ^2_D .

Goodman (1965) estudió dos poblaciones, una de ellas formada por variedades adaptadas a la región y la otra por variedades exóticas y estimó los componentes de varianza mediante el diseño I, encontrando estimadores negativos de σ^2_D , y menciona

que esto comprueba el hecho de que el diseño I sobrestima normalmente la σ^2_A y no tiene mucha sensibilidad para estimar la σ^2_D .

Coutiño (1982) evaluó cruzas dialélicas de un grupo de 18 poblaciones progenitoras a nivel trópico en cinco ambientes. En esta investigación se estimó el vigor híbrido, la capacidad de combinación entre esas poblaciones, la variabilidad genética y la heredabilidad de algunos componentes de rendimiento, concluyendo que las poblaciones mejoradas mostraron mayores efectos genéticos de tipo aditivo.

Gouesnard y Gallais (1992) determinaron que una desviación del modelo genético postulado respecto a la realidad que pretende reflejar, puede causar estimaciones sesgadas de los componentes de varianza. También demuestran que cuando se utiliza el diseño I de Carolina del Norte y el apareamiento no es aleatorio, se produce una sobreestimación de la varianza no aditiva.

Márquez y Sahagún (1994) estudiaron el problema de la precisión de los estimadores de componentes de varianza genéticos en términos de la varianza de los estimadores. De acuerdo con este criterio, un estimador es más preciso si su varianza es más pequeña. Otros factores que afectan la calidad de los estimadores son el número de repeticiones utilizadas en el experimento de evaluación y el nivel de endogamia de los progenitores de las familias evaluadas.

Sahagún (1996), estudio la estimación de componentes de varianza con el diseño

I utilizando familias generadas por cruzamientos entre progenitores endogámicos no emparentados. El autor encontró que el uso de progenitores endogámicos incrementan la precisión en la estimación de varianza de dominancia, del error de parcela y del error ambiental intraparcelar.

Lindsey **et al.** (1962), utilizaron el esquema de apareamiento diseño I de Carolina del Norte, para estimar las varianzas genéticas de dos variedades de maíz (Hays Golden y Krug Yellow Dent) durante dos años (1956 y 1957). Los resultados obtenidos en 1956, muestran que la varianza genética aditiva fue mayor que la de dominancia para todos los caracteres estudiados. Los resultados de 1957 fueron similares, a excepción del número de mazorcas en Hays Golden y rendimiento de grano en Krug Yellow Dent. Sin embargo, al comparar carácter por carácter dentro de cada variedad en 1956 vs 1957, los resultados indican una reducción en las estimaciones de varianza genética aditiva y un incremento en la varianza de dominancia.

Stuber **et al.** (1966), estudiaron la variación en la cruce de dos variedades de maíz mediante los diseños I y II de Carolina del Norte, en donde concluyen que la varianza genética aditiva y la de dominancia fueron similares para rendimiento, aunque para algunas características se manifestó en mayor grado la varianza aditiva.

Diseño II de Carolina del Norte

El diseño II de Carolina del Norte fue propuesto en 1948 por Comstock y

Robinson (1948), junto con el análisis I (Actualmente Diseño Carolina del Norte I), para estimar mediante la esperanza de cuadrados medios el grado promedio de dominancia ("a") de genes que afectan una característica. A partir de los rangos de "a" pueden operar los siguientes niveles de dominancia de genes: no dominancia ($a=0$), dominancia parcial ($0 < a < 1.0$), dominancia completa ($a=1.0$) y sobredominancia ($a > 1.0$).

Posteriormente, estos mismos autores (Comstock y Robinson, 1952), además de discutir los dos diseños iniciales incluyen otro más (Diseño Carolina del Norte III). Estos tres procedimientos experimentales se utilizaron ampliamente en la estación experimental de Carolina del Norte para investigar el grado de dominancia involucrado en la acción de genes que afectan caracteres cuantitativos en plantas de importancia económica. Los diseños de Carolina del Norte I, II y III, cada uno provee información para los dos parámetros genéticos más importantes, la varianza genética aditiva (σ^2_A) y varianza de la dominancia (σ^2_D). En todos estos casos, progenies de medios hermanos y hermanos completos son producidos para ser analizados en un conveniente experimento en la generación F_2 de cruzas entre líneas puras. Particularmente en el Diseño II se hacen los cruzamientos posibles entre un grupo de individuos como machos (m) y otro grupo de individuos como hembras (h), así, se tienen mh progenies. Los cruzamientos en cada apareamiento producen una familia de hermanos completos (HC), y el grupo de cruzas que tenga un progenitor común (macho o hembra) constituye una familia de medios hermanos (MH).

Singh y Chaudhary (1979) expresan que ambos, medios hermanos paternos y

medios hermanos maternos son producidos en este diseño II. A partir de una población P_2 , n_1 machos y n_2 hembras seleccionados al azar y cada macho se cruza con cada una de las hembras, entonces $n_1 \times n_2$ progenitores son producidos y analizados con un conveniente experimento. La variación se divide en dos partes, entre familias de hermanos completos y dentro de familias de hermanos completos. La variación entre familias es de nuevo dividida dentro de componentes, debido a diferencias entre machos y hembras, y a la interacción macho x hembra.

Gómez (1986), evaluó bajo un diseño genético de Carolina del Norte II, cinco variedades tropicales de maíz y cinco subtropicales con sus cruzas correspondientes en P_1 y F_2 , donde evaluó la aptitud combinatoria general ACG y específica ACE, la expresión endogámica y heterosis; obteniendo que sólo dos variedades tropicales y dos subtropicales mostraron ACG y 12 híbridos varietales mostraron ACE positiva, y tres de las cuales muy sobresalientes. Identificando valores tres veces más altos de ACE sobre ACG, pero se identificaron los dos tipos de acción génica.

En un estudio reciente (Castellanos *et al.*, 1996), 12 líneas endogámicas de un grupo heterótico (A) y otras 11 (grupo heterótico B) fueron cruzadas en un Diseño II de Carolina del Norte. Las 132 cruzas y tres testigos arregladas en un diseño alfa lattice, fueron evaluadas en seis localidades subtropicales de México, con el objetivo de estimar la habilidad combinatoria de los dos juegos de líneas e identificar cruzas con buen comportamiento para usarlos como cultivares o en futuros programas de mejoramiento. Determinada su ACG y ACE de dichas líneas, identificaron nuevas cruzas superiores

experimentalmente.

Heredabilidad

El concepto de heredabilidad es asociado con las importancias relativas de herencia y el medio ambiente que influye en la variación de un carácter. Conocer el grado de heredabilidad de una característica es muy importante al hacer selección en un eficiente sistema de mejoramiento. El parecido entre progenitor y progenie puede ser calculado por regresión de progenie progenitor o por correlación entre progenitor y progenie (Kempthorne y Tandon, 1953).

La heredabilidad es debida a la constitución genética transmisible de una generación a otra y se expresa en fracción con respecto a la unidad. Como el fenotipo, es la interacción del genotipo con el medio ambiente; lógicamente, entre menor es la influencia del medio ambiente, mejor 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 medio ambiente (Robles, 1986).

Una distinción es algunas veces hecha entre heredabilidad estimada en "estrecho" o "amplio" sentido. En el sentido "estrecho" el numerador contiene solo a la varianza aditiva, mientras en el sentido "amplio" ambos componentes aditivos y de dominancia son incluidos. La distinción entre estas dos fórmulas es de considerable importancia

teórica pero, en la práctica, pueden ser de limitado valor por el error estándar asociado con la estimación (Sprague, 1966).

Al discutir e interpretar el uso de estimaciones de heredabilidad y varianzas genéticas en el fitomejoramiento, Dudley y Moll (1969) dividen al fitomejoramiento en las siguientes tres etapas: formación de una fuente de germoplasma variable, selección de los individuos superiores de esa fuente y utilización de los individuos seleccionados para crear una variedad superior. Las estimaciones de varianza genética y heredabilidad pueden ser valiosas en las tres etapas, porque proveen una guía útil para contestar muchas preguntas que surgen en un programa de mejoramiento de plantas. Estas estimaciones pueden ser usadas para estimar heredabilidad y/o predecir ganancia en varios tipos de selección.

La heredabilidad puede estimarse por varios diseños de apareamiento, entre los más usados son los diseños I, II, y III (Comstock y Robinson, 1948; 1952) o los diseños dialélicos de Griffing (1956). Los componentes σ_m^2 (varianza entre machos de los diseños I, II y III) y σ_{ACG}^2 (varianza de aptitud combinatoria general del diseño dialélico) son equivalentes a la covarianza de medios hermanos (cov. MH). Esta covarianza ($\frac{1}{4}\sigma_A^2$) asumiendo ausencia de endogamia, estima una fracción de la varianza genética aditiva (σ_A^2) de la población de referencia y fracciones menores de varianza epistática del tipo aditivo x aditivo cuyos valores dependerán del grado de endogamia (F) de las familias de medios hermanos (Molina, 1992).

- ↳ Hallauer and Miranda (1988) reportan que el número de mazorcas por planta generalmente tiene valores de heredabilidad media. También mencionan que el rendimiento es la característica más importante económicamente en maíz, pero presenta una baja herabilidad en comparación con otras características.
- ↳ Coutiño **et al.** (1990), utilizando 18 maíces tropicales sobresalientes mediante cruzamientos dialélicos, a partir de estos cruzamientos se obtuvo el grado de heterosis, la estimación de componentes de varianza genética y la heredabilidad de 13 caracteres de planta y mazorca. Excepto para rendimiento, la varianza aditiva fue la más importante en los otros caracteres cuantitativos de altas heredabilidades.

No existe una escala definida para clasificar la magnitud de la heredabilidad, pero arbitrariamente se puede considerar heredabilidad baja de 0 a 0.3; media de 0.3 a 0.7; y alta de 0.7 a 1.0 Robles (1986). En cambio, Chávez (1993) señala que la heredabilidad es una característica que 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).

III. MATERIALES Y METODOS

Material Genético

* En el presente trabajo de investigación se evaluaron cruzas dobles (familias) en tres ambientes, obtenidas de dos poblaciones: una enana y otra precoz, atendiendo el apareamiento requerido por el diseño I de Carolina del Norte (DCNI); y además, la evaluación en dos ambientes de cruzas simples obtenidas bajo un diseño II de Carolina del Norte (DCNII), así como también el censo total de las poblaciones utilizando un diseño dialélico en una localidad

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

Población enana		Población precoz	
Línea	Genealogía	Línea	Genealogía
1	255-18-19-60-A-A	1	AN7-25-5-1
2	LBCP C5 F17-3-5-1	2	(P22 S3-5-A-AxVS201)-2-27-1-1-1-1
3	232-10-11-1-A-A	3	(CAFIME C10x2321011-1-A)-10-1-1-10-1-B
4	LBSMPSM C5 S2-1	4	(CAFIME C10x2321011-1-A)-15-4-3-2-A-B
5	LBSMPSM C5 S2-1-2	5	(CAFIME C10x4346)-13-1-1-2-A-B
6	ML S4-1	6	(CAFIME C10xAN100-90)-18-2-6-8-A-B
7	LBCP C2-1-1-1-A-A-1	7	(ZAC 58xAN1100-90)-10-3-3-4-A-B
8	LBSMPSM C5 S4-1-1	8	VS 201-2-1-1-4
9	LBSMPSM C5 S4-1-2	9	(CAFIME xAN100-90)-3-1-B
10	LBCP C4 S4-1	10	(CAFIMEx346)-4-3-B
11	LBCP C4 S4-2		
12	LBCP C4 S4-3		
13	LBCP C5 F1 2-4-1#		

Formación de la población precoz

Se formó a partir de líneas elite, del programa de mejoramiento del bajío, cuyos principales atributos eran, el excelente comportamiento **per se** y de los altos efectos de aptitud combinatoria general, pero con la desventaja de que originaban en su descendencia híbridos muy tardíos (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 cruzamientos 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.

Materiales donadores de precocidad

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 formó a partir de líneas derivadas principalmente de la raza bolita, que presenta adaptación desde 1100 hasta 1800 msnm.

VS-201. Se trata de una variedad sintética formada a partir de líneas S₁ derivadas de cafime, 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 gran plasticidad y una adecuada precocidad, además de presentar un excelente porte de planta.

Formación de la población enana

A partir de 13 líneas altamente seleccionadas por su comportamiento **per se**, y sus altos efectos de habilidad combinatoria se formó un dialélico entre ellas, originando la población de referencia cuyas plantas tienen la particularidad de soportar altas densidades de siembra, pueden aprovechar dosis altas de fertilización, son muy estables y de mayor respuesta a los insumos; además, presentan hojas erectas y espigas compactas, lo que hace que se incremente el espacio fotosintético de la planta, traduciéndose en un aumento en la producción de grano.

Obtención de las cruzas en las dos poblaciones para el diseño anidado, factorial y el dialélico

Las 13 y 10 líneas formadoras de la población enana y precoz respectivamente, se recombinaron ^{se} empleando un diseño dialélico en Celaya, Gto., en 1997; (generando 78 y 45 cruzas simples en el dialélico, 42 y 25 en el diseño II). Posteriormente, las cruzas posibles (cruzas simples) se sembraron por surco para una segunda recombinación en Tepalcingo, Mor., en el ciclo (1997-1998). En esta estación y antes de la floración se eligieron al azar 35 machos (cruzas simples) y cada uno se cruzó con cuatro hembras (cruzas simples) y para la población enana, y el mismo número de machos pero con

cinco hembras para la población precoz, usando el diseño I de Carolina del Norte; originando 140 y 175 familias de hermanos completos (cruzas dobles) y 35 familias de medios hermanos paternos respectivamente; las cuales se sembraron en un diseño bloques al azar con dos repeticiones en Celaya, Gto. (1998), Tepalcingo, Mor. y Celaya, Gto. (1999). (Cuadro 3.2).

Para realizar el apareamiento en la forma del diseño de Carolina del Norte II, el material genético para la población enana constó de 13 líneas utilizando como progenitores macho siete líneas y seis como hembras, originando 42 cruzas simples; el material para la población precoz constó de 10 líneas, donde se usaron cinco líneas como machos y cinco como hembras, originando 25 cruzas simples. Estas cruzas se sembraron en un diseño de bloques al azar con dos repeticiones en Tepalcingo, Mor. y Celaya, Gto. (1999). Las líneas que forman a las poblaciones enana y precoz, provienen del programa de bajío del IMM, y se escogieron por su rendimiento **per se** y buenas características agronómicas.

La forma de los tres diseños de apareamiento y para las dos poblaciones, se presentan en el Cuadro A1 y A2 del Apéndice.

Cuadro 3.2. Descripción de localidades de siembra.

Localidad	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud msnm	Temperatura ° C	Precipitación mm
Celaya, Gto.	20° 32'	100° 49'	1751	20.0	594.4
Tepalcingo, Mor.	18° 36'	98° 51'	1160	23.6	942.6

Para el DCNI la siembra se efectuó para cada una de las localidades de manera independiente de acuerdo a las fechas de siembra establecidas regionalmente. La parcela experimental en las tres localidades fue de 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.

Las progenies obtenidas en el DCNII se evaluaron en las localidades de Tepalcingo, Mor. y Celaya, Gto. (1999). 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 aclarar a una planta y así asegurar el número óptimo de plantas.

En cada localidad de evaluación se realizaron labores culturales requeridas por el cultivo, como son: fertilización, deshierbes, aplicación de herbicidas e insecticidas, así como riegos cuando fueron necesarios.

Toma de Datos

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

1. Días a floración femenina y masculina (DFF, DFM). Número de días transcurridos

Variablos a Evaluar

desde la fecha de siembra hasta que el 50 por ciento de las plantas con espiga 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, de un muestreo de 5 a 10 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, de un muestreo de 5 a 10 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 con respecto a 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 características, tales como: uniformidad, posición de la mazorca, enfermedades, daño por insectos, calidad de tallo, etc; para ello se utiliza una escala de 1 a 5, donde 1 es lo mejor y 5 es lo peor.

9. Aspecto 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 1 a 5, donde 1 es lo óptimo y 5 es lo peor.
10. Cobertura de mazorca. Por ciento de mazorcas con mala cobertura en relación al total de mazorcas.
11. Humedad de grano (%). Se obtiene tomando una muestra aleatoria de 100 gr de las mazorcas en cada parcela a la cosecha.
12. Peso de campo. 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 tomo una muestra aleatoria de 100 gr 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 jhons). 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.

$$FC = \frac{10000m^2}{APU \times 0.845 \times 1000}$$

Donde: FC, factor de conversión a ton ha⁻¹; 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⁻¹; 10000 m², superficie de una hectárea.

* Diseños Estadísticos y Genéticos

/ Para la evaluación de familias de hermanos completos en el DCNI, se empleó el análisis de varianza del diseño de bloques completos al azar incluyéndose 50 familias por cada experimento, de tal suerte que la población precoz constó de cuatro experimentos, cada uno con dos repeticiones. Mientras que en la población enana se formaron tres experimentos.

(Para el DCNI se realizará un análisis de varianza combinado a través de ambientes (Cuadro 3.3) y un análisis de varianza individual (Cuadro 3.4); esto para cada población. / Ambos análisis se realizaron usando los procedimientos anova y varcomp del paquete PC SAS (SAS, 1989).

El análisis combinado general a través de ambientes y para cada población, se realizó bajo el siguiente modelo:

$$Y_{ijkm} = \mu + \phi_m + \alpha_{i(m)} + \beta_j + \beta\phi_{jm} + \varphi_{k(j)} + \phi\varphi_{mk(j)} + \varepsilon_{ijkm}$$

Donde: Y_{ijkm} , observación total; μ , efecto de la media general; ϕ_m , efecto de la m -ésima localidad; $\alpha_{i(m)}$, efecto de la i -ésima repetición dentro de localidades; β_j , efecto del j -ésimo macho; $\beta\phi_{jm}$, efecto de la interacción del j -ésimo macho por la m -ésima localidad; $\varphi_{k(j)}$, efecto de la k -ésima hembra dentro del i -ésimo macho; $\phi\varphi_{mk(j)}$, efecto de la interacción de la m -ésima localidad por la k -ésima hembra dentro de machos; ε_{ijkm} , efecto del error experimental.

$i = 1, 2, \dots, r$ (repeticiones); $j = 1, 2, \dots, m$ (machos); $k = 1, 2, \dots, h$ (hembras); $m = 1, 2, \dots, l$ (localidades)

Cuadro 3.3. Forma del análisis de varianza combinado para el diseño genético I de Carolina del Norte.

Fuente de variación	GL		ECM
Localidades (Loc)	$l-1$		
Repeticiones/Loc	$l(r-1)$		
Machos	$m-1$	M5	$\sigma^2_E + r \sigma^2_{H/M*L} + rh \sigma^2_{M*L} + rl \sigma^2_{H/M} + rlh \sigma^2_M$
Machos * Loc	$(m-1)(l-1)$	M4	$\sigma^2_E + r \sigma^2_{H/M*L} + rh \sigma^2_{M*L}$
Hembras/Machos	$m(h-1)$	M3	$\sigma^2_E + r \sigma^2_{H/M*L} + rl \sigma^2_{H/M}$
Hembras/Machos * Loc	$(l-1)(h-1)m$	M2	$\sigma^2_E + r \sigma^2_{H/M*L}$
Error	$l(r-1)(h-1)m$	M1	σ^2_E
Total	$lrhm-1$		

El análisis de varianza individual, se realizó bajo el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \lambda_{k(j)} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde: Y_{ijk} , observación total; μ , efecto de la media general; α_i , efecto de la i -ésima

epetición; β_j , efecto del j-ésimo macho; $\lambda_{k(j)}$, efecto de la k-ésima hembra dentro de machos; ε_{ijk} , efecto del error experimental

= 1,2,..... r (repeticiones); j = 1,2,..... m (machos); k = 1,2,..... h (hembras)

Cuadro 3.4. Forma del análisis de varianza individual para el diseño genético I de Carolina del Norte.

Fuente de variación	GL		ECM
Repeticiones	$r-1$		
Machos	$m-1$	M3	$\sigma^2_E + r \sigma^2_{H/M} + rh \sigma^2_M$
Hembras/Machos	$m(h-1)$	M2	$\sigma^2_E + r \sigma^2_{H/M}$
Error	$(mh-1)(r-1)$	M1	σ^2_E
Total	$rmh-1$		

Para el DCNII el análisis de varianza individual se realizó bajo el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \lambda_k + \phi_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde: Y_{ijk} , observación total; μ , efecto de la media general; α_i , efecto de la i-ésima repetición; β_j , efecto del j-esimo macho; λ_k , efecto de la k-ésima hembra; ϕ_{jk} , efecto de la interacción del j-ésimo macho con la k-ésima hembra; ε_{ijk} , efecto del error experimental.

= 1,2,..... r (repeticiones); j = 1,2,..... m (machos); k = 1,2,..... h (hembras)

Cuadro 3.5. Forma del análisis de varianza individual para el diseño genético II de Carolina del Norte.

Fuente de variación	GL		ECM
Repeticiones	$r-1$		
Machos	$m-1$	M4	$\sigma^2_E + r \sigma^2_{M*H} + rh \sigma^2_M$
Hembras	$(h-1)$	M3	$\sigma^2_E + r \sigma^2_{M*H} + rm \sigma^2_H$
Machos * Hembras	$(m-1)(h-1)$	M2	$\sigma^2_E + r \sigma^2_{M*H}$
Error	$mh(r-1)$	M1	σ^2_E
Total	$rmh-1$		

Análisis Dialélico

El análisis dialélico se realizó utilizando el método IV de Griffing (Griffing, 1956), el modelo lineal es el siguiente:

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

Donde: Y_{ijk} , observación total; μ , media general; g_i , efecto de la habilidad combinatoria general del padre i; g_j , efecto de la habilidad combinatoria general del padre j; s_{ij} , efecto de la habilidad combinatoria específica de los padres i y j; y_k , efecto de la k-ésima repetición; ε_{ijk} , efecto del error experimental.

Cuadro 3.6. Forma del análisis de varianza para el diseño dialélico.

Fuente de variación	GL		ECM
Repeticiones	$r-1$		
Cruzas	$[p(p-1)]/2 - 1$	M4	$\sigma^2_E + r \sigma^2_{Cruzas}$
ACG	$p-1$	M3	$\sigma^2_E + r \sigma^2_{ACE} + r(p-2) \sigma^2_{ACG}$
ACE	$[p(p-3)]/2$	M2	$\sigma^2_E + r \sigma^2_{ACE}$
Error	Por diferencia	M1	σ^2_E
Total	$[rp(p-1)]/2 - 1$		

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 cruzas, se hizo con las medias del carácter rendimiento utilizando las siguientes fórmulas (Sprague y Tatum, 1942).

$$\text{Machos ACG} = (X_i - \mu)$$

Donde: X_i , media del rendimiento del progenitor macho; μ , media general.

$$\text{Hembras ACG} = (X_j - \mu)$$

Donde: X_j , media del rendimiento del progenitor hembra; μ , media general.

$$\text{Para cruzas ACE} = (X_{ij} - \mu) - GP_i - GP_j$$

Donde: X_{ij} , media de rendimiento de la craza; μ , media general; GP_i , ACG del progenitor 1; GP_j , ACG del progenitor 2.

Además también se calculó el coeficiente de variación (CV) para determinar la variación relativa del error experimental en el análisis de varianza mediante la fórmula siguiente:

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

Donde: CV, coeficiente de variación; CMEE, cuadrado medio del error experimental; \bar{X} , media general.

Estimación de Parámetros Genéticos

La estimación se realizó utilizando las esperanzas de cuadrados medios del análisis de varianza para cada una de las poblaciones bajo estudio.

Para el DCNI la estimación de los componentes de varianza genética, como son la varianza aditiva (σ^2_A) y la varianza de dominancia (σ^2_D), así como la heredabilidad

(h^2) no se procedió a estimar estos componentes, debido a que no cumple con una de las suposiciones de los diseños de apareamiento.

Para el DCNII la varianza genética aditiva y la varianza de dominancia se estimaron de la siguiente manera, tomando a $F=1$.

Varianza genética aditiva en base a machos

$$\sigma^2_M = \text{Cov MH}$$

$$\text{CovMH} = \frac{1+F}{4} \sigma_A^2$$

$$\text{CovMH} = \frac{1+1}{4} \sigma_A^2$$

$$\text{CovMH} = \frac{1}{2} \sigma_A^2$$

$$\text{entonces } \sigma_A^2 = 2\sigma_M^2$$

Varianza genética aditiva en base a hembras

$$\sigma^2_H = \text{Cov MH}$$

$$\text{CovMH} = \frac{1+F}{4} \sigma_A^2$$

$$\text{CovMH} = \frac{1+1}{4} \sigma_A^2$$

$$\text{CovMH} = \frac{1}{2} \sigma_A^2$$

$$\text{entonces } \sigma_A^2 = 2\sigma_H^2$$

Varianza de dominancia

$$\sigma_{M^*H}^2 = [(Cov HC) - (Cov MH paternos) - (Cov MH maternos)]$$

$$\sigma_{M^*H}^2 = \frac{1+F}{2} \sigma_A^2 + \frac{1+F}{4} \sigma_D^2 - \frac{1+F}{4} \sigma_A^2 - \frac{1+F}{4} \sigma_A^2$$

$$\sigma_{M^*H}^2 = \frac{1+1}{2} \sigma_A^2 + \frac{1+1}{4} \sigma_D^2 - \frac{1+1}{4} \sigma_A^2 - \frac{1+1}{4} \sigma_A^2$$

$$\sigma_{M^*H}^2 = \frac{2}{2} \sigma_A^2 + \frac{2}{4} \sigma_D^2 - \frac{2}{4} \sigma_A^2 - \frac{2}{4} \sigma_A^2$$

$$\sigma_{M^*H}^2 = \sigma_A^2 + \frac{1}{2} \sigma_D^2 - \sigma_A^2$$

$$\sigma_{M^*H}^2 = \frac{1}{2} \sigma_D^2$$

$$\sigma_D^2 = 2\sigma_{M^*H}^2$$

Estimaciones de Heredabilidad

A partir de los componentes de varianza estimados, se calcularon los valores porcentuales de heredabilidad (h^2) en base a hermanos completos para cada uno de los caracteres evaluados, mediante las fórmulas siguientes:

Diseño dialélico

$$h^2 = \frac{\sigma_A^2}{\frac{CMeruzas}{r}}$$

Diseño II de Carolina del Norte

$$h^2 = \frac{\sigma^2_A}{\frac{\sigma^2_e}{r} + \sigma^2_M + \sigma^2_H + \sigma^2_{M*H}}$$

Estimaciones de Varianzas y Errores Estándar

Las varianzas y los errores estándar de las estimaciones de los componentes de varianza fueron calculados, usando las fórmulas de Hallauer y Miranda (1981).

Diseño II de Carolina del Norte

$$V(\sigma^2_{A\text{hembras}}) = \frac{4 * 2}{(mr)^2} \left[\frac{(M3)^2}{glM3+2} + \frac{(M2)^2}{glM2+2} \right]$$

$$EE\sigma^2_{A\text{hembras}} = \sqrt{V(\sigma^2_{A\text{hembras}})}$$

$$V(\sigma^2_{A\text{machos}}) = \frac{4 * 2}{(hr)^2} \left[\frac{(M4)^2}{glM4+2} + \frac{(M2)^2}{glM2+2} \right]$$

$$EE\sigma^2_{A\text{machos}} = \sqrt{V(\sigma^2_{A\text{machos}})}$$

$$V(\sigma^2_D) = \frac{4 * 2}{(r)^2} \left[\frac{(M2)^2}{glM2+2} + \frac{(M1)^2}{glM1+2} \right]$$

$$EE\sigma^2_D = \sqrt{V(\sigma^2_D)}$$

$$EEh^2 = \frac{2 * EE\sigma_A^2}{\sigma_F^2}$$

Diseño I de Carolina del Norte

$$V(\sigma_M^2) = \frac{2}{(rlh)^2} \left[\frac{(M5)^2}{glM5+2} + \frac{(M2)^2}{glM2+2} + \frac{(M3)^2}{glM3+2} + \frac{(M4)^2}{glM4+4} \right]$$

$$EE\sigma_M^2 = \sqrt{V(\sigma_M^2)}$$

$$V(\sigma_{H/M}^2) = \frac{2}{(rl)^2} \left[\frac{(M3)^2}{glM3+2} + \frac{(M2)^2}{glM2+2} \right]$$

$$EE\sigma_{H/M}^2 = \sqrt{V(\sigma_{H/M}^2)}$$

$$V(\sigma_{M*L}^2) = \frac{2}{(rh)^2} \left[\frac{(M4)^2}{glM4+2} + \frac{(M2)^2}{glM2+2} \right]$$

$$EE\sigma_{M*L}^2 = \sqrt{V(\sigma_{M*L}^2)}$$

$$V(\sigma_{H/M*L}^2) = \frac{2}{(r)^2} \left[\frac{(M2)^2}{glM2+2} + \frac{(M1)^2}{glM1+2} \right]$$

$$EE\sigma_{H/M*L}^2 = \sqrt{V(\sigma_{H/M*L}^2)}$$

Diseño dialélico

$$V(\sigma_{ACG}^2) = \frac{4 * 2}{[r(p-2)]^2} \left[\frac{(M3)^2}{glM3+2} + \frac{(M2)^2}{glM2+2} \right]$$

$$EE\sigma_A^2 = \sqrt{V(\sigma_{ACG}^2)}$$

$$V(\sigma_{ACE}^2) = \frac{2}{r^2} \left[\frac{(M2)^2}{glM2+2} + \frac{(M1)^2}{glM1+2} \right]$$

$$EE\sigma_D^2 = \sqrt{V(\sigma_{ACE}^2)}$$

$$EEh^2 = \frac{EE\sigma_A^2}{\sigma_F^2}$$

Para probar la significancia de los efectos de ACG se usó la prueba de T student, mediante la siguiente fórmula:

$$t = \frac{x}{ES}$$

Donde: x, efecto de ACG o ACE; ES, error estándar.

Error estándar para la ACG

$$ES_{(ACG)} = \sqrt{\left[\frac{(p-1)}{p(p-2)} \right] \left[\frac{CMerror}{r} \right]}$$

Error estándar para la ACE

$$EE_{(ACE)} = \sqrt{\left[\frac{p^2+p+2}{(p+1)(p+2)} \right] \left[\frac{CMerror}{r} \right]}$$

Error estándar para la ACG de machos

$$EE = \sqrt{\frac{C_{\text{Error}}}{rh}}$$

Error estándar para la ACG de hembras

$$EE = \sqrt{\frac{C_{\text{Error}}}{rm}}$$

Error estándar para la ACE

$$EE = \sqrt{\frac{C_{\text{Error}}}{r}}$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de los análisis realizados a las poblaciones enana y precoz, evaluadas bajo los sistemas de apareamiento Diseño Carolina del Norte I (DCNI), Diseño Carolina del Norte II (DCNII) y Diseño Dialélico. Para el DCNI, en ambas poblaciones el análisis de varianza se realizó en forma individual para cada localidad. Esto con el fin de conocer las diferencias y/o similitudes que existen entre los ambientes donde se evaluaron las estructuras familiares. Además, se hizo un análisis de varianza en donde estuvieran combinados los tres ambientes.

Respecto al DCNII, las estructuras familiares se evaluaron en Tepalcingo, Mor. y Celaya, Gto. durante el ciclo de 1999. En cada localidad se pretendió evaluar las mismas características agronómicas; sin embargo, por exceso de precipitación durante la etapa de floración, en Tepalcingo, Mor. el ensayo se perdió, por lo que, los resultados y discusión que se presentan para este diseño de apareamiento, se refieren al análisis de varianza individual de los caracteres que se evaluaron en las dos poblaciones, en Celaya, Gto. 1999.

Primero se discutirá el DCNI, seguido por el diseño dialélico y después el DCNII. Por último se discutirán los sistemas de apareamiento en forma conjunta.

Los cuadrados medios de los análisis individuales para los caracteres evaluados, en cada una de las localidades (Celaya, Gto. 1998, Tepalcingo, Mor. y Celaya, Gto. 1999) y para cada población, se presentan en el Cuadro A3 y A4 del Apéndice, mientras que en el Cuadro 4.1. se presentan los cuadrados medios y los componentes de varianza estimados del análisis de varianza combinado de la población enana evaluada a través de tres ambientes, bajo el diseño I de Carolina del Norte. Se midieron cinco caracteres agronómicos: días a floración masculina y femenina, altura de planta, altura de mazorca y rendimiento.

Se encontraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre localidades para todos los caracteres, lo que indica una gran diferencia entre ambientes debida principalmente a las condiciones climáticas, edáficas y de manejo de cada localidad. Esto muestra lo importante que es evaluar en el mayor número de ambientes, ya que de esta manera se tiene una mejor estimación de los parámetros genéticos, restando los efectos ambientales. Estas diferencias entre las localidades se pueden observar en el Cuadro 4.2, donde en la localidad de Celaya, Gto. (1999) mostró un rendimiento de $13.076 \text{ ton ha}^{-1}$, 2.11 por ciento ($0.276 \text{ ton ha}^{-1}$) más que en la misma localidad pero en el año de 1998, la cual rindió $12.800 \text{ ton ha}^{-1}$, y un 36.07 por ciento ($4.716 \text{ ton ha}^{-1}$) más que la localidad de Tepalcingo, Mor. (1999) con un rendimiento de $8.360 \text{ ton ha}^{-1}$. Un comportamiento similar ocurrió también para los caracteres altura de planta y de mazorca, días a floración masculina y femenina en la localidad de Celaya, Gto. (1999) en la cual los materiales presentaron una mayor altura de planta y de mazorca y a la vez fueron los materiales más tardíos.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios y componentes de varianza estimados del análisis de varianza combinado de la población enana, evaluada a través de tres ambientes Celaya, Gto., (1998), Tepalcingo, Mor., y Celaya, Gto., (1999).

FV	GL	Días a flor macho	Días a flor hembra	Altura de planta cm	Altura de mazorca cm	Rendimiento ton ha ⁻¹
Localidades	2	3598.225 **	3329.751 **	139641.973 **	103844.633 **	1961.447 **
Repeticiones/Localidades	3	16.207 **	11.160 NS	1712.806 **	1285 **	1.659 NS
Machos	34	53.833 **	65.351 **	1717.728 **	1001.196 **	19.917 **
Machos * Localidades	68	20.931 **	22.044 **	395.861 *	223.180 NS	9.200 **
Hembras/Machos	105	9.009 **	10.173 **	951.396 **	476.551 **	14.081 **
Hembras/Machos * Localidades	210	4.511 NS	4.880 NS	307.794 NS	198.229 NS	4.262 NS
Error	417	4.109	4.514	291.350	184.918	3.787
C.V %		2.447	2.517	11.080	19.266	17.051
Media		82.829	84.426	154.058	70.583	11.412
σ^2_M		1.183	1.584	28.261	20.821	0.038
$\sigma^2_{H/M}$		0.750	0.882	107.267	46.387	1.637
$\sigma^2_{M^*L}$		2.053	2.145	11.008	3.118	0.617
σ^2_{H/M^*L}		0.201	0.183	8.222	6.655	0.238
EE σ^2_M		0.552	0.663	17.980	10.352	0.222
EE $\sigma^2_{H/M}$		0.218	0.245	22.244	11.323	0.328
EE $\sigma^2_{M^*L}$		0.446	0.470	9.161	5.294	0.201
EE σ^2_{H/M^*L}		0.261	0.284	18.020	11.553	0.245

*, **, significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; NS, no significativo; σ^2_M , varianza de machos; $\sigma^2_{H/M}$, varianza de hembras dentro de machos; $\sigma^2_{M^*L}$, varianza de machos por localidad; σ^2_{H/M^*L} , varianza de hembras dentro de machos por localidad.

12964

Cuadro 4.2. Medias de los caracteres agronómicos evaluados a través de ambientes.

Localidad	Días a flor macho	Días a flor hembra	Altura de planta cm	Altura de mazorca cm	Rendimiento ton ha ⁻¹
Celaya, Gto (1998).	79.896	81.132	159.607	74.285	12.800
Tepalcingo, Mor (1999).	81.764	84.136	129.495	49.743	8.360
Celaya, Gto (1999).	86.825	88.011	173.093	87.721	13.076
Media general	82.828	84.426	125.608	70.583	11.412
Error estándar	0.167	0.178	1.226	0.973	0.147
DMS (0.05)	0.337	0.353	2.836	2.259	0.323

Las tres localidades de evaluación son estadísticamente diferentes en todos los caracteres evaluados, excepto en rendimiento donde solo las localidades de Celaya, Gto. (1998 y 1999) son estadísticamente iguales.

Las diferencias entre repeticiones dentro de localidades fueron altamente significativas ($P \leq 0.01$) para los caracteres días a flor macho, altura de planta y altura de mazorca y significativo ($P \leq 0.05$) para días a flor hembra, lo que justifica el haber empleado este diseño. Para el carácter rendimiento no se presentaron diferencias estadísticas.

La interacción machos por ambientes mostró diferencias significativas altas ($P \leq 0.01$), para los caracteres días a flor macho, días a flor hembra y rendimiento, y significancia (≤ 0.05) para el carácter altura de planta. Esto indica que los machos cambiaron de orden a través de localidades; es decir, interactúan con el ambiente, en tanto que el carácter altura de mazorca no presentó diferencias estadísticas, es decir, tuvo el mismo tipo de respuesta lineal. Lo cual indica que es estable.

En la interacción hembras dentro de machos por ambiente, no hubo diferencias

estadísticas en todos los caracteres agronómicos evaluados por lo cual son estables.

La fuente machos indica alta significancia ($P \leq 0.01$) para todos los caracteres evaluados, lo que explica la gran diferencia en estos caracteres, que tienen las familias de medios hermanos y en un futuro realizar selección para tener las más precoces, de porte bajo y las más rendidoras.

Los efectos hembras dentro de machos presentaron diferencias significativas altas ($P \leq 0.01$) para todos los caracteres agronómicos evaluados. Esto da la posibilidad de seleccionar las mejores familias de hermanos completos, gracias a la gran variabilidad en su información genética que presentaron para el carácter.

Los coeficientes de variación presentan los valores más bajos en días a flor macho y hembra, un valor intermedio se observa en altura de planta, los más altos están presentes en los caracteres altura de mazorca y rendimiento. Los rangos van desde 2.447 hasta 19.266 por ciento, sin embargo, todos presentan valores porcentuales aceptables.

En cuanto a los estimadores de las varianzas de machos y hembras dentro de machos de la población enana, se encontró que para los caracteres días a flor macho y hembra, la varianza de machos es mayor que la varianza de hembras dentro de machos.

En el Cuadro 4.3 se presentan los cuadrados medios y los componentes de varianza del análisis de varianza combinado de la población precoz evaluada a través de

††

tres ambientes, Celaya, Gto., (1998), Tepalcingo, Mor., y Celaya, Gto., (1999), bajo el diseño I de Carolina del Norte. Se muestran diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre localidades en los cinco caracteres de evaluación, indicando con ello que existe una gran variabilidad que puede atribuirse a las diferencias geográficas de ubicación en donde fueron establecidos los experimentos, así como a los factores ambientales de cada región. Estas diferencias ambientales se observan en el Cuadro 4.4, en donde la localidad de Celaya, Gto., mostró un rendimiento de $13.785 \text{ ton ha}^{-1}$, 4.091 por ciento ($0.564 \text{ ton ha}^{-1}$) más que en la misma localidad pero en el año de 1998, la cual rindió $13.221 \text{ ton ha}^{-1}$, y un 38.440 por ciento ($5.299 \text{ ton ha}^{-1}$) más que la localidad de Tepalcingo, Mor., (1999) la cual rindió $8.486 \text{ ton ha}^{-1}$. Un comportamiento similar ocurrió también para el resto de los caracteres; en la localidad de Celaya, Gto., (1999) los materiales presentaron una mayor altura de planta y de mazorca y a la vez fueron los materiales más tardíos.

Las tres localidades de evaluación son estadísticamente diferentes en todos los caracteres evaluados.

En la interacción machos por localidad muestra diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en los cinco caracteres evaluados, lo cual indica que los machos se comportaron estadísticamente diferentes en las tres localidades (Cuadro 4.3).

Respecto a la interacción hembras dentro de machos por ambiente, presentó diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para los caracteres días a flor macho y

Cuadro 4.j. Cuadrados medios y componentes de varianza estimados del análisis de varianza combinado de la población precoz, evaluada a través de tres ambientes Celaya, Gto., (1998), Tepalcingo, Mor., y Celaya, Gto., (1999).

FV	GL	Días a flor macho	Días a flor hembra	Altura de planta cm	Altura de mazorca cm	Rendimiento ton ha ⁻¹
Localidades	2	2306.041 **	2540.807 **	480962.484 **	336502.930 **	2964.414 **
Repeticiones/Localidades	3	11.936 NS	24.969 NS	2403.523 **	1415.044 **	24.673 **
Machos	34	124.009 **	128.681 **	2445.461 **	1323.144 **	61.237 **
Machos * Localidades	68	18.249 **	20.670 **	2038.117 **	622.627 **	11.027 **
Hembras/Machos	140	19.225 **	19.653 **	514.072 **	441.599 **	11.378 **
Hembras/Machos * Localidades	280	8.267 **	11.478 NS	332.078 NS	247.835 NS	4.619 **
Error	522	6.222	9.984	347.988	258.402	2.607
C.V %		3.480	4.314	8.214	12.662	13.648
Media		71.668	73.241	227.098	126.958	11.831
σ^2_M		3.160	3.328	7.512	17.892	1.448
σ^2_{HM}		1.826	1.363	30.332	27.294	1.127
σ^2_{M*L}		0.998	0.919	170.604	37.479	0.641
$\sigma^2_{H/M*L}$		1.023	0.747	-7.955	-5.283	1.006
EE σ^2_M		0.983	1.021	22.495	11.132	0.487
EE σ^2_{HM}		0.398	0.421	11.186	9.402	0.234
EE σ^2_{M*L}		0.316	0.363	34.564	10.729	0.190
EE $\sigma^2_{H/M*L}$		0.398	0.573	17.637	13.138	0.211

*, **, significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente. NS, no significativo; σ^2_M , varianza de machos; σ^2_{HM} , varianza de hembras dentro de machos; σ^2_{M*L} , varianza de machos por localidad; $\sigma^2_{H/M*L}$, varianza de hembras dentro de machos por localidad.

rendimiento, por lo tanto estos caracteres son inestables en tanto que el resto de los caracteres evaluados no presentaron diferencias estadísticas.

Cuadro 4.4. Medias de los caracteres agronómicos evaluados a través de ambientes.

Localidad	Días a flor macho	Días a flor hembra	Altura de planta cm	Altura de mazorca cm	Rendimiento ton ha ⁻¹
Celaya, Gto (1998).	69.509	70.537	242.043	136.171	13.221
Tepalcingo, Mor (1999).	70.989	73.260	184.889	92.389	8.486
Celaya, Gto (1999).	74.506	75.926	254.363	152.314	13.785
Media general	71.668	73.241	227.098	126.958	11.831
Error estándar	0.189	0.204	1.247	0.978	0.137
DMS (0.05)	0.370	0.469	2.770	2.387	0.240

En la fuente machos las altas diferencias significativas ($P \leq 0.01$) que arroja el análisis de varianza en todos los caracteres, indican que dentro de las familias de medios hermanos las diferencias por su gran variación genética, que tienen estos caracteres, permite seleccionar las mejores.

Para la fuente de variación hembras dentro de machos, se observa alta significancia ($P \leq 0.01$) en todos los caracteres evaluados. Esto corrobora que es posible realizar selección de las mejores familias de hermanos completos, puesto que para los caracteres estudiados existe marcada diferencia entre familias.

Los valores de los coeficientes de variación para los caracteres evaluados, fueron bajos, teniendo una fluctuación desde 3.48 por ciento en la característica días a flor macho hasta 13.648 por ciento en la característica rendimiento, siendo un indicativo de que los experimentos fueron bien conducidos a través de las localidades.

Los valores estimados de los parámetros genéticos evaluados en esta población indican que la varianza de machos fue mayor que la varianza hembras dentro de machos en los caracteres días a flor macho, días a flor hembra y rendimiento. Respecto a la varianza debida a hembras dentro de machos esta fue mayor que la varianza de machos en los caracteres altura de planta y de mazorca.

Análisis de varianza del diseño dialélico (población enana)

En el Cuadro 4.5 se presentan los cuadrados medios y significancia estadística de los factores en estudio en los análisis dialélicos para rendimiento y otras variables estudiadas en la localidad de Celaya, Gto. (1999). Se observa que las cruzas fueron altamente significativas ($P \leq 0.01$) para los cinco caracteres evaluados, lo que indica que al cruzar progenitores con diferente información genética se producirán progenes muy variables para las características evaluadas, existiendo cruzas, con alto rendimiento y buenas características agronómicas, lo cual permite identificar híbridos potenciales.

Respecto a los efectos de ACG, se encontró una alta significancia ($P \leq 0.01$) para todos los caracteres evaluados. Las diferencias que presentaron estas variables reflejan que al menos un progenitor difiere de los otros en comportamiento, lo cual permite hacer selección entre las líneas, tomando aquellas que expresen una mayor ACG.

En cuanto a la ACE se encontraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en todos los caracteres evaluados. Lo que indica que al menos una de las combinaciones es mejor o superior a las demás.

Cuadro 4.5. Cuadrados medios del análisis dialélico para la población enana, evaluada en Celaya, Gto. (1999).

FV	GL	Días a flor macho	Días a flor hembra	Altura de planta cm	Altura de mazorca cm	Rendimiento ton ha ⁻¹
Rep	1	27.083 **	21.564 **	231.410 ^{NS}	92.308 ^{NS}	15.636 ^{NS}
Cruzas	77	9.225 **	9.596 **	1545.096 **	833.613 **	21.087 **
ACG	12	38.145 **	40.603 **	4460.346 **	1855.951 **	45.547 **
ACE	65	3.886 **	3.872 **	1006.896 **	704.105 **	16.572 **
Error	77	1.863	1.915	318.748	238.736	4.087
Medias		84.532	85.641	188.936	96.308	14.381
CV %		1.61	1.62	9.45	16.04	14.06
σ^2_A		3.114	3.339	313.95	104.713	2.634
σ^2_D		1.012	0.979	344.074	232.684	6.242
h^2		0.675	0.696	0.406	0.251	0.250
EE σ^2_A		1.312	1.396	154.073	64.723	1.587
EE σ^2_D		0.367	0.368	90.604	63.722	1.468
EE h^2		0.284	0.291	0.199	0.155	0.150

*, ** significativo al nivel de 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; NS, no significativo.

Respecto a los componentes de varianza genética, se observa que para los caracteres días flor macho y hembra, fue más importante la σ^2_A con valores de 3.114 y 3.339 respectivamente. En los caracteres altura de planta, altura de mazorca y rendimiento fue más importante la σ^2_D con valores de 344.074, 232.684 y 6.242 respectivamente. Por lo tanto para estos caracteres donde la varianza de dominancia fue mayor que la varianza aditiva, la población se puede dirigir el mejoramiento hacia programas de endogamia - hibridación, para estos caracteres, pero como la varianza del tipo aditivo se presentó en los caracteres días a flor macho y hembra, la población puede capitalizar ganancias en un programa de selección recurrente, para explotar la

variabilidad genética de tipo aditiva. Sin embargo, si se desea mejorar todos los caracteres evaluados, es mejor utilizar un programa de selección recíproca recurrente, ya que esta metodología se puede aplicar cuando están presentes los dos tipos de acción génica como en este caso. La heredabilidad para los caracteres días flor macho y días a flor hembra fue alta, el resto de los caracteres presentaron una heredabilidad media.

Efectos de Aptitud Combinatoria General

En el Cuadro 4.6 se muestra el comportamiento de los 13 progenitores evaluados en el diseño dialélico. Donde se puede observar que los mejores efectos positivos de ACG para rendimiento fueron obtenidos por las líneas L6, L12, L5 y L13 con 3.905, 1.653, 0.596 y 0.492 ton ha⁻¹ respectivamente, de estas líneas sólo la L6 y L12 presentaron valores altamente significativos, la L5 y L13 presentan valores estadísticamente igual a cero. El resto presentaron efectos negativos.

Las estimaciones para el resto de los caracteres evaluados; resaltan que las líneas L6 y L12 aumentan la altura de planta y de mazorca, pero tienen la particularidad de disminuir los días a flor macho y hembra de sus progenies. La línea L5 presentó una ACG no favorable para el resto de los caracteres, ya que incrementa los días a floración en ambos sexos y también las alturas de sus progenies. La línea L13 presenta valores de ACG favorables para los caracteres días a flor en ambos sexos, altura de planta y de mazorca; ya que produce progenies precoces y de un porte bajo.

Cuadro 4.6. Efectos de ACG de las líneas evaluadas en el diseño dialélico, para la población enana.

Líneas	Días a flor macho	Días a flor hembra	Altura de planta cm	Altura de mazorca cm	Rendimiento ton ha ⁻¹
1	-0.535	-0.608 *	-16.294 **	-3.472	-0.901 *
2	-1.035 **	-1.153 **	31.524 **	21.164 **	-0.933 *
3	2.192 **	2.300 **	-5.794	-7.381 *	-1.003 *
4	-0.853 **	-0.927 **	-5.657	-3.017	-0.546
5	2.329 **	2.437 **	15.888 **	8.709 **	0.596
6	-0.808 **	-0.790 **	20.706 **	10.755 **	3.905 **
7	-2.171 **	-2.108 **	-7.521 *	-8.381 **	-0.295
8	-0.717 *	-0.745 **	-7.248 *	-7.927 *	-1.583 **
9	1.147 **	1.164 **	-4.885	-5.836	-0.628
10	0.465	0.619 *	-12.476 **	-8.245 **	-0.343
11	0.783 **	0.709 *	-8.612 *	1.573	-0.417
12	-0.671 **	-0.654 *	5.843	6.392 *	1.653 **
13	-0.126	-0.245	-5.476	-4.336	0.492

*, ** diferentes de cero al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad.

En el Cuadro 4.7 se presentan los efectos de ACE para rendimiento de las 78 combinaciones. Donde se observan las cruzas que mostraron mejor ACE y que corresponden a la 3x13, 4x5, 6x13, 6x10, 4x9, 8x9, y 7x10 con 8.429, 5.896, 5.050, 4.709, 4.513, 3.976, y 3.651 ton ha⁻¹ respectivamente; seguidas por las cruzas 2x10, 9x10, 2x12, 5x10, 6x11, 2x11 y 9x11 con valores de 3.591, 2.856, 2.567, 2.342, 2.129, 2.105 y 2.064 ton ha⁻¹ respectivamente, de estas cruzas las ocho primeras mostraron valores altamente significativos, las dos siguientes presentaron valores significativos y las cuatro últimas presentan efectos positivos de ACE pero con valores no significativos.

Cuadro 4.7. Efectos de ACE para rendimiento en la población enana.

Cruza	ACE	◆	Cruza	ACE	◆
1x2	0.860	26	4x11	-2.280	66
1x3	0.868	24	4x12	1.429	18
1x4	-1.495	59	4x13	-1.672	61
1x5	0.916	22	5x6	0.002	40
1x6	-1.487	58	5x7	-0.214	44
1x7	0.539	32	5x8	1.256	19
1x8	1.146	20	5x9	-9.198 **	78
1x9	0.549	31	5x10	2.342	11
1x10	-3.165 *	72	5x11	-0.554	47
1x11	-0.770	52	5x12	-0.127	43
1x12	1.564	15	5x13	0.914	23
1x13	0.474	33	6x7	-0.110	41
2x3	1.015	21	6x8	1.463	17
2x4	-1.862	64	6x9	-1.618	60
2x5	-0.403	45	6x10	4.709 **	4
2x6	-2.442	68	6x11	2.129	12
2x7	0.655	30	6x12	-2.611 *	71
2x8	-0.610	50	6x13	5.050 **	3
2x9	0.729	27	7x8	0.094	38
2x10	3.591 **	8	7x9	-0.939	56
2x11	2.105	13	7x10	3.651 **	7
2x12	2.567 *	10	7x11	0.318	36
2x13	-6.203 **	77	7x12	-0.585	48
3x4	0.097	37	7x13	-3.462 **	74
3x5	-0.831	53	8x9	3.976 **	6
3x6	-1.676	62	8x10	-5.433 **	76
3x7	0.694	28	8x11	0.860	25
3x8	-3.795 **	75	8x12	0.022	39
3x9	-1.849	63	8x13	0.678	29
3x10	-2.416	67	9x10	2.856 *	9
3x11	-0.932	55	9x11	2.064	14
3x12	0.394	34	9x12	1.522	16
3x13	8.429 **	1	9x13	-2.605 *	70
4x5	5.896 **	2	10x11	-2.216	65
4x6	-3.408 **	73	10x12	-2.547	69
4x7	-0.640	51	10x13	-0.454	46
4x8	0.342	35	11x12	-0.601	49
4x9	4.513 **	5	11x13	-0.124	42
4x10	-0.919	54	12x13	-1.027	57

◆, lugar ocupado según sus valores de ACE; *,** diferentes de cero al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad.

Análisis de varianza del diseño dialélico (población precoz)

En el Cuadro 4.8 se presentan los cuadrados medios y significancia estadística para rendimiento y otras variables estudiadas en la localidad de Celaya, Gto. (1999). Se observa que en las cruzas hubo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en los caracteres días a flor macho y hembra, no así para altura de planta, altura de mazorca y rendimiento, que resultaron no significativos. Las diferencias que presentan estas variables, indican que al cruzar progenitores con diferente información genética producirán progenies muy variables para los caracteres días a flor en ambos sexos.

En los efectos de ACG hubo una alta significancia ($P \leq 0.01$) para los caracteres días a flor macho, días a flor hembra, altura de mazorca y rendimiento, no así para altura de planta que resulto no significativo. Las diferencias en estas variables indican que al menos uno de los progenitores es superior en ACG en las características bajo estudio.

En los efectos de ACE no hubo diferencias significativas en ningún carácter evaluado, lo que indica que las combinaciones se están comportando estadísticamente igual unas de otras. Los cuadrados medios de los caracteres evaluados indican que en la población no hay efectos del tipo no aditivo.

El coeficiente de variación para los caracteres evaluados, fue inferior al 18.19 por ciento, lo que proporciona confiabilidad desde el punto de vista experimental.

Cuadro 4.8. Cuadrados medios del análisis dialélico para la población precoz, evaluada en Celaya, Gto. (1999).

FV	GL	Días a flor macho	Días a flor hembra	Altura de planta cm	Altura de mazorca cm	Rendimiento 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	380.938 NS	214.479 NS	6.988 NS
Error	44	3.855	3.786	416.376	234.823	6.355
Medias		75.578	77.022	245.356	155.567	13.858
CV %		2.59	2.53	8.32	9.85	18.19
σ^2_A		10.537	9.037	39.949	88.702	1.579
σ^2_D		0.338	0.247	-17.718	-10.172	0.290
h^2		0.968	0.948	0.179	0.499	0.329
EE σ^2_A		4.736	4.083	38.945	49.647	1.074
EE σ^2_D		0.662	0.635	62.012	34.943	1.048
EE h^2		0.435	0.428	0.175	0.276	0.224

*, ** significativo al nivel de 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; NS, no significativo.

En cuanto a los componentes de varianza genética, se observa que la σ^2_A fue más importante que su contraparte la σ^2_D , en todos los caracteres.

La heredabilidad fue alta para los caracteres días a flor macho y hembra, el carácter altura de planta presentó una heredabilidad media y los caracteres altura de mazorca y rendimiento presentaron una heredabilidad baja.

Esto nos da una clara pauta que en ambas poblaciones se pueden integrar en un programa de selección recíproca recurrente y estar manejando cíclicamente las cruzas entre estos materiales así como simultáneamente se estarán mejorando las poblaciones.

Otra alternativa importante sería hacer cruzas entre líneas de las poblaciones lo que se traducirá en nuevos híbridos potenciales.

Efectos de Aptitud Combinatoria General

En el Cuadro 4.9 se presenta el comportamiento de los 10 progenitores evaluados bajo un diseño dialélico. Donde se observa que los mayores efectos positivos de ACG para rendimiento fueron obtenidos por las líneas L5, L7, L3, L6 y L1 con valores de 1.691, 1.052, 0.872, 0.625 y 0.618 ton ha⁻¹ respectivamente, de las cuales sólo la L5 presento valores altamente significativos. El resto presentaron efectos negativos.

Cuadro 4.9. Efectos de ACG de las líneas evaluadas en el diseño dialélico, para la población precoz.

Líneas	Días a flor macho	Días a flor hembra	Altura de planta cm	Altura de mazorca cm	Rendimiento ton ha ⁻¹
1	2.788 **	2.475 **	10.538	11.863 **	0.618
2	0.788	0.663	0.288	-0.388	-0.182
3	1.850 **	1.725 **	4.600	4.800	0.872
4	-2.275 **	-2.088 **	-4.150	-5.763	-0.937
5	1.663 **	1.600 **	9.538	9.925 **	1.691 **
6	0.350	0.350	-0.213	4.363	0.625
7	2.725 **	2.538 **	-1.400	-2.138	1.052
8	-2.963 **	-2.650 **	-5.400	-3.138	-1.135
9	-1.525 **	-1.213 *	-10.588	-9.513 *	-1.460 *
10	-3.400 **	-3.400 **	-3.213	-10.013 **	-1.143

*,** diferentes de cero al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad.

Las estimaciones para el resto de los caracteres, reflejan que las líneas L5, L3 y L1 aumentan la altura de planta y de mazorca, también producen progenies tardías. La línea L7 incrementa los días a flor macho y hembra, pero tiene la particularidad de disminuir la altura de planta y de mazorca. Respecto a la línea L6, se tiene que aumenta los días a flor macho, días a flor hembra y altura de mazorca, teniendo como particularidad el disminuir la altura de planta.

En el Cuadro 4.10 se presentan los efectos de ACE para rendimiento de las combinaciones. Donde se observan las cruzas que mostraron mejor ACE y que corresponden a la 2x3, 8x10, 1x6, 4x7 y 1x5 con 3.125, 2.593, 1.968, 1.848 y 1.810 ton ha⁻¹ respectivamente; seguidas por las cruzas 1x4, 2x5, 4x10, 2x7 y 5x9 con valores de 1.743, 1.568, 1.208, 1.070 y 1.063 ton ha⁻¹ respectivamente. Todas estas cruzas presentaron valores no significativos lo cual se corrobora en el Cuadro 4.8, donde se observa que en la fuente de variación ACE no existe significancia en ninguno de los caracteres evaluados.

Cuadro 4.10. Efectos de ACE para rendimiento en la población precoz

Cruza	ACE	◆	Cruza	ACE	◆
1x2	-6.912 **	45	3x9	-0.834	37
1x3	0.994	11	3x10	-3.604 *	44
1x4	1.743	6	4x5	-0.510	32
1x5	1.810	5	4x6	-1.607	40
1x6	1.968	3	4x7	1.848	4
1x7	-0.607	36	4x8	-1.772	41
1x8	-0.424	30	4x9	-1.388	39
1x9	0.774	14	4x10	1.208	8
1x10	0.653	15	5x6	-0.897	38
2x3	3.125	1	5x7	-2.323	43
2x4	0.482	18	5x8	-0.568	34
2x5	1.568	7	5x9	1.063	10
2x6	0.878	13	5x10	-0.547	33
2x7	1.070	9	6x7	0.340	21
2x8	0.275	22	6x8	0.208	23
2x9	-0.482	31	6x9	0.541	17
2x10	-0.004	25	6x10	-1.844	42
3x4	-0.005	26	7x8	-0.083	27
3x5	0.404	20	7x9	-0.293	28
3x6	0.414	19	7x10	0.618	16
3x7	-0.572	35	8x9	-0.307	29
3x8	0.077	24	8x10	2.593	2
			9x10	0.925	12

◆, lugar ocupado según sus valores de ACE; *,** diferentes de cero al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad.

Las mejores cruzas que muestren buen potencial de rendimiento y valores significativos en ambas poblaciones, pueden ser empleadas a nivel comercial, o bien, involucrar a las líneas con buenos efectos de aptitud combinatoria general y valores significativos a un programa de hibridación para formar cruzas experimentales simples, dobles y triples; que nos ayuden a identificar híbridos superiores potencialmente para rendimiento de grano y características agronómicas. Además se requiere evaluar las cruzas superiores en más localidades, para posteriormente realizar un análisis de estabilidad del rendimiento y enfocar las cruzas a un mayor rango de adaptación.

Análisis del Diseño Carolina del Norte II (población enana)

En el Cuadro 4.11 se presentan los cuadrados medios de las diferentes características agronómicas de la población enana, evaluada en Celaya, Gto. (1999). Se observa que en la fuente machos hubo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en todos los caracteres, lo que indica que los progenitores utilizados como machos, al menos uno difiere de los otros en cuanto a la información genética que posee cada uno de ellos.

En la fuente hembras fueron altamente significativos ($P \leq 0.01$) los caracteres días a flor macho, días a flor hembra y rendimiento, no así para el carácter altura de planta que fue significativo ($P \leq 0.05$), indicando esto que los progenitores hembras presentan variabilidad genética para los caracteres.

La fuente de variación macho x hembra, presentó alta significancia ($P \leq 0.01$) en los caracteres altura de planta, altura de mazorca y rendimiento, no así para el carácter días a flor hembra, que fue significativo ($P \leq 0.05$); lo anterior es un indicativo de la gran variabilidad genética existente entre las 42 cruas formadas en el diseño II de Carolina del Norte.

Cuadro 4.11. Cuadrados medios del análisis de varianza para la población enana, evaluada en Celaya, Gto.(1999).

FV	GL	Días a flor macho	Días a flor hembra	Altura de planta cm	Altura de mazorca cm	Rendimiento ton ha ⁻¹
Rep	1	13.762 *	10.012 *	144.048 ^{NS}	96.429 ^{NS}	5.505 ^{NS}
M	6	42.873 **	46.650 **	7045.607 **	2714.944 **	63.204 **
H	5	14.733 **	15.821 **	876.333 *	654.019 ^{NS}	32.117 **
M*H	30	4.111 ^{NS}	4.260 *	1203.05 **	1081.930 **	23.286 **
Error	41	2.445	2.427	320.877	317.160	4.791
Medias		84.74	85.82	186.881	95.167	14.506
C.V %		1.85	1.82	9.59	18.71	15.09
σ^2_M		3.230	3.533	486.879	136.084	3.326
σ^2_H		0.759	0.826	-23.337	-30.565	0.630
σ^2_{M*H}		0.833	0.917	441.087	382.385	9.248
σ^2_A		3.989	4.358	486.880	136.085	3.957
σ^2_D		1.666	1.834	882.173	764.770	18.495
h^2		0.660	0.672	0.447	0.201	0.254
EE σ^2_A		2.356	2.555	334.397	146.919	3.973
EE σ^2_D		1.155	1.187	308.621	278.997	5.912
EE h^2		0.779	0.787	0.614	0.434	0.509

*,** significativo al nivel de 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; NS, no significativo.

M = machos; H = hembras; σ^2_M , σ^2_H , σ^2_A , σ^2_D , componentes de varianza debida a machos, hembras, aditiva, dominancia; h^2 = heredabilidad; EE σ^2_A , EE σ^2_D , EE h^2 , error estándar de la varianza aditiva, de dominancia y heredabilidad.

Los coeficientes de variación para los caracteres, son aceptables, pero el más alto es para altura de mazorca con un valor de 18.74 por ciento, y el más bajo para días a flor macho con un valor de 1.82 por ciento.

Respecto a las estimaciones de varianza genética, se tiene que para los caracteres

días a flor macho y hembra, fue mayor la σ^2_A que su contraparte, lo cual indica que estos caracteres presentan efectos aditivos favorables para que el mejorador realice la selección de los materiales más precoces como lo confirman Coutiño **et al.** (1990); no así para los caracteres altura de planta, altura de mazorca y rendimiento donde fue mayor la σ^2_D .

La heredabilidad fue alta para los caracteres días a flor macho y hembra, el resto de los caracteres presentaron una heredabilidad media.

Análisis del Diseño Carolina del Norte II (población precoz)

En el Cuadro 4.12 se presentan los cuadrados medios de los diferentes caracteres agronómicos de la población precoz, evaluada en Celaya, Gto. (1999). Donde se observa que en la fuente machos hubo diferencias altamente significativas en los caracteres, días a flor macho y hembra, no así para el carácter altura de mazorca que fue significativo ($P \leq 0.05$); lo que indica que hay variabilidad genética en los progenitores utilizados como machos. En los caracteres altura de planta y rendimiento no hubo diferencias estadísticas.

En la fuente hembras, fueron altamente significativos ($P \leq 0.01$) los caracteres días a flor macho y hembra; indicando con esto que los progenitores hembras presentan variabilidad genética para los caracteres días a flor macho y hembra. El resto de los caracteres no presentaron diferencias significativas.

En la interacción macho x hembra, no hubo significancia en ninguno de los caracteres evaluados, lo anterior es un indicativo que, el orden en que un macho al cruzarse con “n” hembras no difiere. Es decir, tienen efectos muy bien definidos en su descendencia híbrida, indicando con esto que la población presenta más efectos del tipo aditivo. Además, la ausencia de significancia se debe a que estas líneas pertenecen al mismo grupo de líneas.

Cuadro 4.12. Cuadrados medios del análisis de varianza para la población precoz, evaluada en Celaya, Gto. (1999).

FV	GL	Días a flor macho	Días a flor hembra	Altura de planta cm	Altura de mazorca cm	Rendimiento ton ha ⁻¹
Rep	1	56.18 **	50 **	1200.5 NS	578 NS	0.818 NS
M	4	50.33 **	42.53 **	640 NS	976.03 *	9.334 NS
H	4	78.33 **	69.53 **	373.75 NS	495.53 NS	18.383 NS
M*H	16	3.33 NS	3.11 NS	454.375 NS	215.967 NS	4.052 NS
Error	24	5.513	5.42	591.125	297.792	9.324
Medias		75.54	76.96	244.5	155.84	13.642
C.V %		3.11	3.02	9.94	11.07	22.382
σ^2_M		4.7	3.943	18.563	76.006	0.528
σ^2_H		7.6	6.643	-8.063	27.956	1.433
σ^2_{M*H}		-1.091	-1.156	-68.375	-40.912	-2.636
σ^2_A		12.000	10.585	18.563	103.963	1.961
σ^2_D		-2.183	-2.312	-136.750	-81.824	-5.271
h^2		0.797	0.796	0.059	0.411	0.296
EE σ^2_A		7.432	6.473	66.297	86.310	1.625
EE σ^2_D		1.889	1.826	223.201	109.563	2.917
EE h^2		0.987	0.974	0.422	0.683	0.491

*, ** significativo al nivel de 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; NS, no significativo.

Los coeficientes de variación presentan lo valores más bajos en días a flor macho y hembra, los mas altos están presentes en rendimiento y altura de mazorca. Los rangos van desde 3.02 hasta 22.38 por ciento, sin embargo todos presentan valores aceptables.

Respecto a las estimaciones de varianza genética, se tiene que resultó ser más importante la varianza aditiva, expresándose en todos los caracteres evaluados.

En cuanto a la heredabilidad, se encontró que los caracteres días a flor macho y hembra presentaron una heredabilidad alta, el carácter altura de planta presentó una heredabilidad baja; no así para los caracteres altura de mazorca y rendimiento que presentaron una heredabilidad media.

Aptitud Combinatoria

Se determinó la ACG de los progenitores y la ACE de sus cruzas, para la característica rendimiento, para analizar la progenie del diseño Carolina del Norte II, con el fin de estimar componentes de varianza analizando los machos, hembras y machos x hembra, esto en ambas poblaciones.

Efectos de Aptitud Combinatoria General (población enana)

Los estimadores de los efectos de (ACG) para rendimiento de grano en (ton ha^{-1}) de los progenitores macho y hembra se presentan en el Cuadro 4.13, donde se puede observar que el mejor efecto positivo de ACG y con valor altamente significativo para rendimiento fue obtenido por el progenitor macho seis con $5.164 \text{ ton ha}^{-1}$, el resto presentaron efectos negativos. En las líneas utilizadas como hembras, las que presentaron efectos positivos de ACG fueron la 12, 13 y 10 con 2.023, 0.989 y 0.764 ton

ha⁻¹ respectivamente, de las cuales sólo la L12 presento un valor altamente significativo. El resto presento efectos negativos.

Cuadro 4.13. Efecto de ACG para rendimiento de grano en ton ha⁻¹ de los progenitores machos y hembras que intervienen en la formación de las 42 cruzas para la población enana, evaluadas en Celaya, Gto. (1999).

Machos	Media	ACG	◆	Hembras	Media	ACG	◆
1	13.309	-1.196	6	8	12.901	-1.605 **	5
2	13.674	-0.831	5	9	12.755	-1.751 **	6
3	13.213	-1.293 *	7	10	15.270	0.764	3
4	13.933	-0.573	3	11	14.085	-0.421	4
5	13.946	-0.559	2	12	16.529	2.023 **	1
6	19.669	5.164 **	1	13	15.496	0.989	2
7	13.795	-0.710	4				

◆, lugar ocupado según sus valores de ACG; *,** diferentes de cero al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad.

Los valores de ACG indican en cuanto supera 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.

Efectos de Aptitud Combinatoria Específica (población enana)

Los efectos de ACE para rendimiento de grano en ton ha⁻¹ se presentan en el Cuadro 4.14. Donde se puede observar las cruzas que mostraron mejor efecto de ACE ; que corresponde a la 3x13, 4x9, 6x13, 7x10, 5x8, 5x10, y 2x10 con 8.097, 5.538, 3.169, 2.836, 2.310, 2.267 y 2.259 ton ha⁻¹ respectivamente; seguidas por las cruzas 6x10, 2x12, 2x11, 1x9, 2x9, 5x13 y 1x12 con valores de 2.220, 1.972, 1.884, 1.843, 1.626, 1.448 y 1.366 ton ha⁻¹ respectivamente, de estas cruzas sólo las dos primeras presentar

valores altamente significativos y la 6x13 con un valor significativo. El resto presentaron valores no significativos.

Cuadro 4.14. Efecto de ACE para rendimiento de grano en ton ha⁻¹ de las 42 cruzas evaluadas en Celaya, Gto. (1999).

Cruzas	Media	ACE	◆	Cruzas	Media	ACE	◆
1x8	13.044	1.339	15	5x8	14.651	2.310	5
1x9	13.402	1.843	11	5x9	5.153	-7.043 **	42
1x10	9.973	-4.101 **	39	5x10	16.977	2.267	6
1x11	12.295	-0.594	28	5x11	14.008	0.482	20
1x12	16.699	1.366	14	5x12	16.504	0.535	19
1x13	14.447	0.147	25	5x13	16.384	1.448	13
2x8	11.256	-0.814	31	6x8	18.166	0.101	26
2x9	13.550	1.626	12	6x9	16.041	-1.878	32
2x10	16.697	2.259	7	6x10	22.653	2.220	8
2x11	15.137	1.884	10	6x11	19.999	0.751	17
2x12	17.669	1.972	9	6x12	17.329	-4.363 **	40
2x13	7.738	-6.926 **	41	6x13	23.829	3.169 *	3
3x8	8.001	-3.608 *	37	7x8	12.598	0.407	22
3x9	10.902	-0.561	27	7x9	12.520	0.475	21
3x10	10.620	-3.357 *	36	7x10	17.395	2.836	4
3x11	12.030	-0.762	30	7x11	13.988	0.614	18
3x12	15.426	0.191	24	7x12	15.155	-0.663	29
3x13	22.300	8.097 **	1	7x13	11.117	-3.668 *	38
4x8	12.594	0.265	23				
4x9	17.721	5.538 **	2				
4x10	12.573	-2.124	33				
4x11	11.139	-2.374	35				
4x12	16.918	0.962	16				
4x13	12.656	-2.268	34				

◆, lugar ocupado según sus valores de ACE; **,* diferentes de cero al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad.

Efectos de Aptitud Combinatoria General (población precoz)

Los estimadores de los efectos de (ACG) para rendimiento de grano en (ton ha⁻¹) de los progenitores macho y hembra de la población precoz se presentan en el Cuadro

4.15, donde se puede observar que los mejores efectos positivos de ACG para rendimiento fueron obtenidos por los progenitores macho uno y cinco con valores de 0.894 y 0.840 ton ha⁻¹ respectivamente pero con valores no significativos, el resto presentaron efectos negativos. En las líneas utilizadas como hembras, las que presentaron el valor más alto de ACG fueron la siete y seis con valores de 1.564 y 1.404 ton ha⁻¹ respectivamente y con valores no significativos, el resto presentaron efectos negativos.

Cuadro 4.15. Efecto de ACG para rendimiento de grano en ton ha⁻¹ de los progenitores machos y hembras que intervienen en la formación de las 25 cruzas para la población precoz, evaluadas en Celaya, Gto. (1999).

Machos	Media	ACG	◆	Hembras	Media	ACG	◆
1	14.536	0.894	1	6	15.046	1.404	2
2	13.611	-0.031	3	7	15.206	1.564	1
3	13.414	-0.228	4	8	12.653	-0.989	4
4	12.167	-1.475	5	9	12.637	-1.005	5
5	14.482	0.840	2	10	12.669	-0.973	3

◆, lugar ocupado según sus valores de ACG.

Efectos de Aptitud Combinatoria Especifica (población precoz)

Los efectos de ACE para rendimiento en ton ha⁻¹ se presentan en el Cuadro 4.16, Donde se observan las cruzas que presentaron mejor efecto de ACE pero con valores no significativos y que corresponde a la 4x7, 4x10, 5x9 y 3x8, con valores de 2.091, 1.793, 1.674 y 1.247 ton ha⁻¹ respectivamente; seguidas por las cruzas 1x6, 3x6, 2x7 y 1x10 con valores de 1.128, 0.951, 0.623 y 0.423 ton ha⁻¹ respectivamente.

Cuadro 4.16. Efecto de ACE para rendimiento de grano en ton ha⁻¹ de las 25 cruzas evaluadas en Celaya, Gto. (1999).

Cruzas	Media	ACE	♦
1x6	17.069	1.128	5
1x7	14.921	-1.179	22
1x8	12.917	-0.631	18
1x9	13.790	0.259	11
1x10	13.986	0.423	8
2x6	15.179	0.163	14
2x7	15.798	0.623	7
2x8	12.815	0.193	13
2x9	11.734	-0.872	19
2x10	12.529	-0.109	16
3x6	15.769	0.951	6
3x7	15.211	0.233	12
3x8	13.672	1.247	4
3x9	12.436	0.027	15
3x10	9.984	-2.457	25
4x6	11.940	-1.632	23
4x7	15.822	2.091	1
4x8	10.015	-1.163	21
4x9	10.074	-1.089	20
4x10	12.987	1.793	2
5x6	15.277	-0.610	17
5x7	14.278	-1.768	24
5x8	13.846	0.353	9
5x9	15.152	1.674	3
5x10	13.859	0.350	10

♦, lugar ocupado según sus valores de ACE.

Es importante destacar que en las cruzas de alta ACE, se encontraron combinaciones donde participan las líneas de alta ACG, lo cual es coincidente con los resultados de González (1987), aunque también participan líneas de baja ACG, como lo señalan Hebert y Gallais (1986).

Efectos genéticos obtenidos bajo dos sistemas de apareamiento

Los resultados del Cuadro 4.17, muestran que en ambos diseños los caracteres días a flor macho y hembra, la varianza aditiva fue mayor a la varianza de dominancia; no así para los caracteres altura de planta, altura de mazorca y rendimiento, que resulte ser más importante la varianza de dominancia.

Cuadro 4.17. Parámetros genéticos obtenidos de la población enana, evaluada bajo dos sistemas de apareamiento.

Parámetro	Días a flor macho	Días a flor hembra	Altura de planta cm	Altura de mazorca cm	Rendimiento ton ha ⁻¹
DISEÑO II					
σ^2_A	3.989	4.358	486.880	136.085	3.957
σ^2_D	1.666	1.834	882.173	764.770	18.495
h^2	0.660	0.672	0.447	0.201	0.254
EE σ^2_A	2.356	2.555	334.397	146.919	3.973
EE σ^2_D	1.155	1.187	308.621	278.997	5.912
EE h^2	0.779	0.787	0.614	0.434	0.509
DIALELICO					
σ^2_A	3.114	3.339	313.950	104.713	2.634
σ^2_D	1.012	0.979	344.074	232.684	6.242
h^2	0.675	0.696	0.406	0.251	0.250
EE σ^2_A	1.312	1.396	154.073	64.723	1.587
EE σ^2_D	0.367	0.368	90.604	63.722	1.468
EE h^2	0.284	0.291	0.199	0.155	0.150

La heredabilidad fue alta para los caracteres días a flor macho y hembra y media para el resto de los caracteres, esto para los dos diseños.

Los valores estimados de los parámetros genéticos evaluados en la población precoz, bajos dos diseños genéticos (Cuadro 4.18), indican que la varianza aditiva resulto ser más importante que su contraparte la varianza de dominancia, expresándose

en todos los caracteres evaluados y bajo los dos diseños.

Cuadro 4.18. Parámetros genéticos obtenidos de la población precoz, evaluada bajo dos sistemas de apareamiento.

Parámetro	Días a flor macho	Días a flor hembra	Altura de planta cm	Altura de mazorca cm	Rendimiento ton ha ⁻¹
DISEÑO II					
σ^2_A	12.000	10.585	18.563	103.963	1.961
σ^2_D	-2.183	-2.312	-136.750	-81.824	-5.271
h^2	0.797	0.796	0.059	0.411	0.296
EE σ^2_A	7.432	6.473	66.297	86.310	1.625
EE σ^2_D	1.889	1.826	223.201	109.563	2.917
EE h^2	0.987	0.974	0.422	0.683	0.491
DIALELICO					
σ^2_A	10.537	9.037	39.949	88.702	1.579
σ^2_D	0.338	0.247	-17.718	-10.172	0.290
h^2	0.968	0.948	0.179	0.493	0.329
EE σ^2_A	4.736	4.083	38.945	49.647	1.074
EE σ^2_D	0.662	0.635	62.012	34.943	1.048
EE h^2	0.435	0.428	0.175	0.276	0.224

La heredabilidad fue alta en los caracteres días a flor macho y días a flor hembra, mientras que los caracteres altura de mazorca y rendimiento presentaron una heredabilidad media y el carácter altura de planta presentó una heredabilidad baja, esto en los dos diseños.

La heredabilidad es un parámetro que se debe tomar en cuenta al realizar selección, ya que la heredabilidad en sentido estrecho especifica la proporción de la variación total debida a efectos genéticos aditivos.

Al comparar las varianzas obtenidas en los dos diseños de apareamiento, se observan resultados diferentes; debido al muestro y además a la forma de apareamiento

realizado para cada diseño. Por consiguiente, los estimados de la heredabilidad también presentan valores diferentes.

La precisión de los estimados de la varianza genética y heredabilidad, está determinada por la magnitud de sus errores estándar. Mientras menor sea el error estándar, mayor será la precisión del estimado. (Hallauer y Miranda, 1981). En este sentido, las estimaciones más confiables de la varianza genética y heredabilidad en este estudio, se obtuvieron en el diseño dialélico, ya que nos permite hacer estimaciones en los progenitores y en su descendencia híbrida y en la relación que guardan estos dos. Además, de presentar los errores estándar más bajos en la mayoría de los caracteres evaluados; aunque hubo varianzas negativas debido a un insuficiente muestreo. Sin embargo; las estrategias de apareamiento proporcionan información sobre la naturaleza de la acción de los genes involucrados en la herencia de los caracteres evaluados.

Con base en la precisión se define cual método es mejor y así los estimadores. Ahora bien, desde el punto de vista práctico y económico es mejor utilizar el diseño Carolina del Norte II ya que con este sistema se puede realizar un mayor número de cruzamientos, es decir, se evalúa un mayor número de progenitores. Además, se ahorra tiempo y espacio al realizar los cruzamientos y su evaluación. Con la limitante de que en este sistema no se incluyen todas las cruza posibles.

Los efectos no aditivos presentes en la población enana, probablemente son producto de una baja dotación de genes favorables para el carácter evaluado.

Hubo estimaciones negativas de varianza de dominancia, debido posiblemente a un muestreo insuficiente como lo mencionan Márquez y Hallauer (1970). Otros factores que afectan la calidad de los estimadores son el número de repeticiones utilizadas en el experimento de evaluación y el nivel de endogamia de los progenitores de las familias evaluadas.

En la población enana, la varianza de dominancia estimada fue superior a la varianza aditiva para el carácter rendimiento por lo que, los tipos de acción genética no aditiva son de mayor importancia en la expresión de esta característica. Hallauer y Miranda (1988), mencionan que si una mayor parte de la variación genética es no aditiva, un programa de endogamia e hibridación puede ser la alternativa más efectiva en un esquema de mejoramiento. Sin embargo, la gran cantidad de varianza de dominancia estimada puede deberse a efectos de ligamiento. Tal es el caso de poblaciones, las cuales son mezclas genéticas de dos o más líneas, variedades o razas, las cuales no han sido apareadas (Molina, 1992).

En la población precoz, la varianza aditiva estimada fue superior a la varianza de dominancia para todos los caracteres evaluados bajo los dos diseños, estos resultados son semejantes a los que obtuvieron Hallauer y Miranda (1981), donde presentan un resumen sobre componentes de variación genética para diferentes poblaciones de maíz en el que se puede apreciar que hay una mayor cantidad de varianza aditiva que varianza de dominancia. También son semejantes a los que encontraron (Lindsey, 1962) y (Senz 1971).

Todo indica que es adecuado aplicar estrategias de selección recurrente :
mejoramiento de los caracteres de esta población, con el fin de explotar la varia
genética de tipo aditiva, en donde se espera habrá mayor ganancia genética.

V. CONCLUSIONES

* Al estimar los componentes de varianza genética y heredabilidad en los diferentes caracteres agronómicos, muestran que la población precoz, presentó una mayor proporción de varianza aditiva en la mayoría de los caracteres evaluados, la cual se puede explotar mediante algún esquema de selección recurrente que acumule los efectos aditivos presentes en los caracteres. Caso contrario sucedió en la población enana, donde resultó mayor la varianza de dominancia en los caracteres altura de planta, altura de mazorca y rendimiento; por lo que se justificaría un programa de hibridación que explote los efectos no – aditivos de dichos caracteres.

* En función a los resultados obtenidos que indican presencia de varianzas aditiva y de dominancia en ambas poblaciones, se propone se realice un esquema de selección recíproca recurrente de hermanos completos a partir de familias con dos niveles de endogamia. Otra alternativa importante sería hacer cruces entre líneas de las poblaciones lo que se traducirá en nuevos híbridos potenciales.

* De la evaluación en el dialélico, se identificaron líneas con efectos positivos de (ACG) para rendimiento de grano y además algunas presentaron buenos atributos agronómicos de las cuales destacaron la L6, L12, L5 y L13, esto para la población enana. En la población precoz sobresalieron la L5, L7, L3, L6 y L1.

* Los estimadores más confiables de la varianza y heredabilidad en este estudio, se obtuvieron en el diseño dialélico.

VI. RESUMEN

La presente investigación se realizó con la finalidad de estimar la variación genética para diferentes caracteres agronómicos y heredabilidad, en dos poblaciones de maíz; además, determinar los efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) de los progenitores y Específica (ACE) de sus cruzas.

Como material genético se utilizaron 13 líneas para la población enana y 10 para la precoz, ambas del Instituto Mexicano del Maíz de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; con las cuales se formaron cruzas mediante los sistemas de apareamiento anidado (Diseño de Carolina del Norte I); diseño factorial (Diseño de Carolina del Norte) y diseño dialélico, las cuales se evaluaron bajo un diseño de bloques al azar con dos repeticiones en tres localidades para el DCNI, dos para el DCNII y una para el diseño dialélico. Los caracteres analizados fueron días a flor macho y hembra, altura de planta y mazorca en cm y rendimiento en ton ha^{-1} .

Respecto a los efectos de ACG, los progenitores 6, 12, 5 y 13, presentaron los valores más altos, contribuyendo con más frecuencia de alelos favorables para rendimiento en la mayoría de las cruzas donde intervienen, por lo que pueden ser excelentes progenitores de nuevos híbridos, mientras que las mejores combinaciones

específicas la obtuvieron las cruzas 3x13, 4x5, 6x13, 6x10, 4x9, 8x9, y 7x10; esto para la población enana. Para la población precoz se tiene que los progenitores 5, 7, 3, 6 y 1 presentaron los mejores efectos de ACG, en tanto que las mejores combinaciones fueron la 2x3, 8x10, 1x6, 4x7 y 1x5.

Basándose en la estimación de los componentes de varianza genética y heredabilidad en los caracteres agronómicos, al ser caracterizadas las dos poblaciones bajo los sistemas de apareamiento, se tiene que la población precoz, contendrá una mayor cantidad de efectos aditivos en la mayoría de los caracteres, la cual puede explotarse mediante algún esquema de mejoramiento de selección recurrente. Caso contrario sucedió en la población enana, donde resultó mayor la varianza de dominancia en los caracteres altura de planta, altura de mazorca y rendimiento; por lo que se justificaría un programa de hibridación que explote los efectos no-aditivos.

Los estimadores más confiables de la varianza genética y heredabilidad en este estudio se obtuvieron en el diseño dialélico.

VII. LITERATURA CITADA

- Beck, D. L., S. K. Vasal, and J. Crossa. 1991. Heterosis and combining ability among subtropical and temperate intermediate-maturity maize germoplasm. *Crop. Sci.* 31:68-73.
- Castellanos S., H. Córdova, A. Ortega, E. Preciado, S. González, A. Terrón, R. Gaytán and R. López. 1996. Heterosis and combining ability of CIMMYT subtropical maize inbred lines and their performance in hybrid combinations *In: The genetics and exploitations of hetesisis in crops. Simposium international. México D. F.* p. 294-295.
- Chávez A., J. L. Mejoramiento de plantas I. ed. trillas. México, D. F. 149 p.
- Cockerham, C. C. 1961. Implication of genetic variances in a hybridization program *Crop. Sci.* 1: 47-52.
- Cockerham, C. C. 1963. Estimation 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.
- Comstock, R. E., and H. F. Robinson. 1948. The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimatig the average degree of dominance. *Biometrics* 4: 254-266.
- Comstock, R. E., and H. F. Robinson. 1952. Estimation of average dominance of genes *In: Gowen, J. W. (ed). Heterosis. Iowa State College Press. Iowa. USA.* p 494-516.
- Córdova H. S., R. Velásquez, F. Poey, y G. Soto. 1980. Heterosis del rendimiento y aptitud combinatoria de líneas y familias de hermanos completos de maíz *In: Memoria de reunión anual de PCCMCA.* 26: 24-28.
- Córtez M., H. 1977. Seminarios Técnicos. CIANE, INEA, SARH. Vol. No. 8 p. 1-6 México.
- Coutiño E., B. 1982. Variabilidad genética en cruzas dialélicas de maíz formadas cor poblaciones tropicales sobresalientes. Tesis de Maestría en el Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 141 p.

- Coutiño E., B., H. Angeles A. y A. Martínez G. 1990. Variabilidad genética en cruces dialélicas de maíz (*Zea mays* L.) formadas con poblaciones tropicales sobresalientes. *Agrociencia: Fitociencia*. 1(1):143-156.
- 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, R. S. 1986. Introducción a la genética cuantitativa. Trad. de la Ed. en Inglés por F. Márquez., 8ª. Impresión, México, D.F., 430 p.
- Gómez M., N. 1986. Aptitud combinatoria de maíces tropicales y subtropicales en región de transición baja de Guerrero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 8:3-19.
- González G., J. 1987. Implicación del rendimiento *per se* y la ACG de las líneas autofecundadas de maíz (*Zea mays* L.) en la predicción de cruces simples de alto rendimiento. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduado Montecillo, México. 78 p.
- Gouesnard, B., and A. Gallais. 1992. Genetic variance component estimation in a nested mating design with positive assortative mating, and application to maize. *Crop Sci*. 32:1127-1131.
- Goodman, M. M. 1965. Estimates of genetic variance in adapted and exotic populations of maize. *Crop Sci*. 5: 87-90.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian J. Biol. Sci*. 9:463-493.
- Guei, R. G., and C. E. Wassom. 1992. Inheritance of some drought adaptive traits in maize: I. Interrelationships between yield, flowering, and ears per plant. *Maydica* 33: 157-164.
- Hayes, H. K. 1963. A professor's story of hybrid corn. Burgess Publishing Company, Minneapolis, Minnesota. 237 p.
- Hallauer, A. R. 1980. Relation of quantitative genetics to applied maize breeding. *Braz J. Genetics* 3: 207-233. USA.
- Hallauer, A. R. 1993. Maize breeding proceedings of the Fifth ASIAN regional maize workshop 5:160-178.
- Hallauer, A. R., and J. B. Miranda. 1981. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press. 468 p.
- Hallauer, A. R., and J. B. Miranda. 1988. Quantitative genetics in maize breeding. 2nd ed. Iowa State University Press. Ames, IA, USA. 462 p.

- Hebert, Y., and A. Gallais. 1986. Heterosis and genetic variation for quantitative characters in a 12 x 12 diallel mating design in maize. *Biometrics in plant breeding* (Edited by Kearsey, M. J. And Werner, C. P.), : 140-152.
- Kambal, A. E., and O. J. Webster. 1965. Estimates of general and specific combining ability in grain sorghum. *Crop. Sci.* 5: 521-523.
- Kempthorne, O., and O. B. Tandon. 1953. The estimation of heritability by regression of offspring on parent. *Biometrics.* 9(1): 90-100.
- ✓ Lamkey, R. L., B. Schnicker, and T. Gocken. 1993. Choice of source population for inbred corn development. *Proc. Annu. Corn and Sorghum. Ind. Res. Conf.* 48:91-103.
- ✓ Lindsey, M. F., J. H. Lonquist, and C. O. Gardner. 1962. Estimates of genetic variance in open pollinated varieties of cornbelt corn. *Crop Sci.* 2:105-108.
- Márquez S., F., and A. R. Hallauer. 1970. Influence of sample size on the estimation of genetic variances in a synthetic variety of maize. I. Grain yield. *Crop Sci.* 10:357-361.
- Márquez S., F., and J. Sahagún. 1994. Estimation of genetic variances with maternal half-families. *Maydica* 39:197-201.
- Molina G., J. D. 1992. *Introducción a la genética de poblaciones y cuantitativa.* AGT ed. México, D. F. 349 p.
- ✓ Molina G., J. D., y J. García Z. 1996. Uso de líneas de alta y baja aptitud combinatoria general (ACG) como probadores de la ACG de líneas autofecundadas de maíz. *In: Memorias del XVI Congreso de Fitogenética, Colegio de Posgraduados, Montecillo, México.* p. 230.
- ✓ Ramos G., F. y G. Moreno. 1994. Patrones heteróticos en dialelos poblacionales de maíz (*Zea mays* L.). *In: Memorias XV Congreso Nacional de Fitogenética, Monterrey, N. L. México.*
- Reyes L., D. 1995. Aptitud combinatoria general (ACG) de maíces originales y mejorados por selección. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 68 p.
- Robinson, H. F., R. E. Comstock, and P. H. Harvey. 1951. Estimate of heritability and the degree of dominance in corn. *Agron. J.* 41: 353-359.
- Robles S., R. 1986. *Genética elemental y fitomejoramiento práctico.* LIMUSA. México, D. F. 477 p.

- Russell, W. A. 1991. Genetic improvement of maize yield. *In: Advances in Agronomy* 46: 2445-298.
- Sahagún C., J. 1996. Precisión de estimadores de componentes de varianza del diseño de Carolina del Norte con progenitores endogámicos. *Revista Fitotec Mexicana*. 20:1-12.
- SAS. 1989. SAS/STAT user's guide: versión 6.4th ed. Vol. 2. SAS Inst. Cary, N.C. 9 p.
- Searle, S. R. 1971. Topics in variance components estimation. *Biometrics*. 27(1): 1-76.
- Sentz, J. C. 1971. Genetic variances in a synthetic variety of maize estimated by two mating designs. *Crop Sci*. 11:234-238.
- Singh, R. K., and B. D. Chaudhary. 1979. Biometrical methods in quantitative genetic analysis. Ludhiana, New Delhi. 304 p.
- Sprague, G. F. 1966. Quantitative genetics in plant improvement. *In: Frey, K. J. (ed) Plant Breeding*. Iowa State University Press. Ames, Iowa. USA. p. 315-354
- Sprague, G. F., and L. A. Tatum. 1942. General vs specific combining ability in single crosses of corn. *Agron. J.* 34: 923-932.
- Sprague, G. F., and S. A. Eberhart. 1977. Corn Breeding. *In: G.F. Sprague (ed). Corn and Improvement* Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin. p. 305-362.
- Stuber, C. W., R. H. Moll, and W. D. Hanson. 1966. Genetic variances and interrelationships of six traits in a hybrid population of *Zea mays* L. *Crop Sci*. 6:455-459.
- Vasal, S. K., G. Srinivasan, J. Crossa, and D. L. Beck L. 1992. Heterosis and Combining Ability of CIMMYT's Subtropical and Temperate Early-Maturity Maize Germoplasm. *Crop. Sci*. 32(4):884-890.
- Vasal, S. K., G. Han, and F. González. 1992. Heterotic patterns of eighty-eight white subtropical CIMMYT maize lines. *Maydica*. 37: 259-270.
- Vasal, S. K., F. González, N. Vergara, y G. Srinivasan 1993. Comportamiento de híbridos intra e inter poblacionales entre líneas endocriadas e implicación de estos resultados en el desarrollo de híbridos de maíz. *Agronomía Mesoamericana*. 4: 1-6.
- Vasal, S. K., B. S. Dhillon, G. Srinivasan, S. H. Zhang, and S. D. McLean. 1999. Recurrent selection for inbreeding-stress tolerance for intermediate-maturity maize populations. *Maydica*, 40:159-164.

Wright, J. A., A. R. Hallauer, L. H. Penny, and S. A. Eberhart. 1971. Estimating genetic variances in maize by use of single and three-way crosses among unselected inbred lines. *Crop. Sci.* 11: 690-695.

VIII. APENDICE

Cuadro A. 1. F de los tres diseños de apareamientos para la población enana.

DD	Líneas	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1	x3	1x4	1x5	1x6	1x7	1x8	1x9	1x10	1x11	1x12
	2	x3	2x4	2x5	2x6	2x7	2x8	2x9	2x10	2x11	2x12
	3		3x4	3x5	3x6	3x7	3x8	3x9	3x10	3x11	3x12
	4			4x5	4x6	4x7	4x8	4x9	4x10	4x11	4x12
	5				5x6	5x7	5x8	5x9	5x10	5x11	5x12
	6					6x7	6x8	6x9	6x10	6x11	6x12
	7						7x8	7x9	7x10	7x11	7x12
	8							8x9	8x10	8x11	8x12
	9								9x10	9x11	9x12
	10									10x11	10x12
	11										11x12
	12										

DCN II MAC		HEMBRAS				
		8	9	10	11	12
	1	(MH) _{1,8}	(MH) _{1,9}	(MH) _{1,10}	(MH) _{1,11}	(MH) _{1,12}
	2	(MH) _{2,8}	(MH) _{2,9}	(MH) _{2,10}	(MH) _{2,11}	(MH) _{2,12}
	3	(MH) _{3,8}	(MH) _{3,9}	(MH) _{3,10}	(MH) _{3,11}	(MH) _{3,12}
	4	(MH) _{4,8}	(MH) _{4,9}	(MH) _{4,10}	(MH) _{4,11}	(MH) _{4,12}
	5	(MH) _{5,8}	(MH) _{5,9}	(MH) _{5,10}	(MH) _{5,11}	(MH) _{5,12}
	6	(MH) _{6,8}	(MH) _{6,9}	(MH) _{6,10}	(MH) _{6,11}	(MH) _{6,12}
	7	(MH) _{7,8}	(MH) _{7,9}	(MH) _{7,10}	(MH) _{7,11}	(MH) _{7,12}

DCN I MACH		HEMBRAS						
M	II	1	ID	2	ID	3	ID	4
1	2	H _{1,1}	2825	H _{2,1}	2901	H _{3,1}	2917	H _{4,1}
2	2	H _{5,2}	2921	H _{6,2}	2923	H _{7,2}	2925	H _{8,2}
3	2	H _{9,3}	2825	H _{10,3}	2919	H _{11,3}	2921	H _{12,3}
4	2	H _{13,4}	2921	H _{14,4}	2924	H _{15,4}	3007	H _{16,4}
5	2	H _{17,5}	3007	H _{18,5}	3007	H _{19,5}	3012	H _{20,5}
6	2	H _{21,6}	2820	H _{22,6}	2923	H _{23,6}	2924	H _{24,6}
7	2	H _{25,7}	2820	H _{26,7}	2919	H _{27,7}	3011	H _{28,7}
8	2	H _{29,8}	2923	H _{30,8}	2923	H _{31,8}	3003	H _{32,8}
9	2	H _{33,9}	2820	H _{34,9}	3001	H _{35,9}	3006	H _{36,9}
10	2	H _{37,10}	2918	H _{38,10}	3003	H _{39,10}	3005	H _{40,10}
11	2	H _{41,11}	3001	H _{42,11}	3002	H _{43,11}	3007	H _{44,11}
12	2	H _{45,12}	3001	H _{46,12}	3002	H _{47,12}	3006	H _{48,12}
13	2	H _{49,13}	3001	H _{50,13}	3002	H _{51,13}	3004	H _{52,13}
14	2	H _{53,14}	3001	H _{54,14}	3004	H _{55,14}	3008	H _{56,14}
15	2	H _{57,15}	3001	H _{58,15}	3001	H _{59,15}	3002	H _{60,15}
16	2	H _{61,16}	3002	H _{62,16}	3003	H _{63,16}	3005	H _{64,16}
17	2	H _{65,17}	2923	H _{66,17}	3001	H _{67,17}	3003	H _{68,17}
18	2	H _{69,18}	2810	H _{70,18}	2914	H _{71,18}	2916	H _{72,18}
19	2	H _{73,19}	2810	H _{74,19}	2914	H _{75,19}	2915	H _{76,19}

Cuadro A.1..... continuación.

20	2822	H _{77,20}	2810	H _{78,20}	2914	H _{78,20}	2917	H _{80,20}	2925
21	2823	H _{81,21}	2914	H _{82,21}	2916	H _{83,21}	2917	H _{84,21}	3018
22	2824	H _{85,22}	2803	H _{86,22}	2808	H _{87,22}	2914	H _{88,22}	3001
23	2825	H _{89,23}	2803	H _{90,23}	2808	H _{91,23}	2906	H _{92,23}	2914
24	2901	H _{93,24}	2803	H _{94,24}	2806	H _{95,24}	2818	H _{96,24}	3018
25	2902	H _{97,25}	2803	H _{98,25}	2808	H _{99,25}	2917	H _{100,25}	2923
26	2903	H _{101,26}	2803	H _{102,26}	2808	H _{103,26}	2915	H _{104,26}	2917
27	2905	H _{105,27}	2801	H _{106,27}	2803	H _{107,27}	2808	H _{108,27}	2821
28	2906	H _{109,28}	2903	H _{110,28}	2903	H _{111,28}	2805	H _{112,28}	2821
29	2907	H _{113,29}	2801	H _{114,29}	2803	H _{115,29}	2805	H _{116,29}	2818
30	2908	H _{117,30}	2801	H _{118,30}	2805	H _{119,30}	2807	H _{120,30}	2818
31	2909	H _{121,31}	2801	H _{122,31}	2803	H _{123,31}	2805	H _{124,31}	2808
32	2910	H _{125,32}	2801	H _{126,32}	2805	H _{127,32}	2806	H _{128,32}	2807
33	2912	H _{129,33}	2801	H _{130,33}	2805	H _{131,33}	2818	H _{132,33}	3002
34	2914	H _{133,34}	2822	H _{134,34}	2903	H _{135,34}	2905	H _{136,34}	3020
35	2916	H _{137,35}	2821	H _{138,35}	3003	H _{139,35}	3005	H _{140,35}	3020

Cuadro A. 2. Forma de los tres diseños de apareamientos para la población precoz.

DD	Líneas	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	1	1x2	1x3	1x4	1x5	1x6	1x7	1x8	1x9	1x10	
	2		2x3	2x4	2x5	2x6	2x7	2x8	2x9	2x10	
	3			3x4	3x5	3x6	3x7	3x8	3x9	3x10	
	4				4x5	4x6	4x7	4x8	4x9	4x10	
	5					5x6	5x7	5x8	5x9	5x10	
	6						6x7	6x8	6x9	6x10	
	7							7x8	7x9	7x10	
	8								8x9	8x10	
	9									9x10	
DCN II MACHOS						HEMBRAS					
			6	7	8	9	10				
	1		(MH) _{1,6}	(MH) _{1,7}	(MH) _{1,8}	(MH) _{1,9}	(MH) _{1,10}				
	2		(MH) _{2,6}	(MH) _{2,7}	(MH) _{2,8}	(MH) _{2,9}	(MH) _{2,10}				
	3		(MH) _{3,6}	(MH) _{3,7}	(MH) _{3,8}	(MH) _{3,9}	(MH) _{3,10}				
	4		(MH) _{4,6}	(MH) _{4,7}	(MH) _{4,8}	(MH) _{4,9}	(MH) _{4,10}				
	5		(MH) _{5,6}	(MH) _{5,7}	(MH) _{5,8}	(MH) _{5,9}	(MH) _{5,10}				
DCN I	MACHOS		HEMBRAS								
M	ID	1	ID	2	ID	3	ID	4	ID	5	ID
1	3101	H _{1,1}	2812	H _{2,1}	3105	H _{3,1}	3110	H _{4,1}	3124	H _{5,1}	3207
2	3102	H _{6,2}	2812	H _{7,2}	3104	H _{8,2}	3105	H _{9,2}	3110	H _{10,2}	3207
3	3103	H _{11,3}	2812	H _{12,3}	3104	H _{13,3}	3105	H _{14,3}	3110	H _{15,3}	3207
4	3104	H _{16,4}	3103	H _{17,4}	3105	H _{18,4}	3110	H _{19,4}	3121	H _{20,4}	3207
5	3105	H _{21,5}	2812	H _{22,5}	3110	H _{23,5}	3121	H _{24,5}	3124	H _{25,5}	3207
6	3107	H _{26,6}	3101	H _{27,6}	3105	H _{28,6}	3106	H _{29,6}	3115	H _{30,6}	3125
7	3108	H _{31,7}	3102	H _{32,7}	3104	H _{33,7}	3105	H _{34,7}	3106	H _{35,7}	3110
8	3109	H _{36,8}	3104	H _{37,8}	3106	H _{38,8}	3115	H _{39,8}	3124	H _{40,8}	3201
9	3110	H _{41,9}	3102	H _{42,9}	3103	H _{43,9}	3105	H _{44,9}	3121	H _{45,9}	3124
10	3111	H _{46,10}	3101	H _{47,10}	3102	H _{48,10}	3104	H _{49,10}	3105	H _{50,10}	3201
11	3112	H _{51,11}	2812	H _{52,11}	3104	H _{53,11}	3110	H _{54,11}	3121	H _{55,11}	3124
12	3113	H _{56,12}	3103	H _{57,12}	3104	H _{58,12}	3105	H _{59,12}	3106	H _{60,12}	3110
13	3114	H _{61,13}	2812	H _{62,13}	3103	H _{63,13}	3110	H _{64,13}	3111	H _{65,13}	3121
14	3115	H _{66,14}	3112	H _{67,14}	3116	H _{68,14}	3201	H _{68,14}	3202	H _{70,14}	3203
15	3116	H _{71,15}	3114	H _{72,15}	3115	H _{73,15}	3201	H _{74,15}	3202	H _{75,15}	3203
16	3117	H _{76,16}	3105	H _{77,16}	3111	H _{78,16}	3112	H _{79,16}	3202	H _{80,16}	3203
17	3118	H _{81,17}	3104	H _{82,17}	3112	H _{83,17}	3113	H _{84,17}	3114	H _{85,17}	3202
18	3119	H _{86,18}	3103	H _{87,18}	3111	H _{88,18}	3112	H _{89,18}	3201	H _{90,18}	3205
19	3120	H _{91,19}	3103	H _{92,19}	3105	H _{93,19}	3111	H _{94,19}	3113	H _{95,19}	3114
20	3121	H _{96,20}	3101	H _{97,20}	3103	H _{98,20}	3111	H _{99,20}	3112	H _{100,20}	3113
21	3122	H _{101,21}	3103	H _{102,21}	3111	H _{103,21}	3112	H _{104,21}	3113	H _{105,21}	3114
22	3123	H _{106,22}	3201	H _{107,22}	3202	H _{108,22}	3203	H _{109,22}	3204	H _{110,22}	3205
23	3224	H _{111,23}	3111	H _{112,23}	3113	H _{113,23}	3114	H _{114,23}	3204	H _{115,23}	3210
24	3125	H _{116,24}	3103	H _{117,24}	3105	H _{118,24}	3204	H _{119,24}	3205	H _{120,24}	3210
25	3202	H _{121,25}	3101	H _{122,25}	3103	H _{123,25}	3105	H _{124,25}	3106	H _{125,25}	3110
26	3203	H _{126,26}	3201	H _{127,26}	3202	H _{128,26}	3204	H _{129,26}	3205	H _{130,26}	3212
27	3204	H _{131,27}	3110	H _{132,27}	3202	H _{133,27}	3203	H _{134,27}	3205	H _{135,27}	3212
28	3206	H _{136,28}	3110	H _{137,28}	3103	H _{138,28}	3104	H _{139,28}	3105	H _{140,28}	3110
29	3207	H _{141,29}	3102	H _{142,29}	3103	H _{143,29}	3104	H _{144,29}	3206	H _{145,29}	3110

Cuadro A. 2..... continuación.

30	3208	H _{146,30}	3110	H _{147,30}	3206	H _{148,30}	3213	H _{149,30}	3215	H _{150,30}	3216
31	3209	H _{151,31}	3101	H _{152,31}	3102	H _{153,31}	3104	H _{154,31}	3206	H _{155,31}	3214
32	3210	H _{156,32}	3212	H _{157,32}	3213	H _{158,32}	3215	H _{159,32}	3216	H _{160,32}	3125
33	3211	H _{161,33}	3101	H _{162,33}	3102	H _{163,33}	3103	H _{164,33}	3206	H _{165,33}	3214
34	3212	H _{166,34}	3203	H _{167,34}	3204	H _{168,34}	3205	H _{169,34}	3210	H _{170,34}	3213
35	3213	H _{171,35}	3101	H _{172,35}	3110	H _{173,35}	3206	H _{174,35}	3214	H _{175,35}	3214

Cuadro A.3. Cuadrados medios y componentes de varianza estimados de los análisis de varianza individuales para la población enana.

FV		GL	Días a flor macho	Días a flor hembra	Altura de planta cm	Altura de mazorca cm	Rendimiento ton ha ⁻¹
Loc							
1	Rep	1	1.032 ^{NS}	0.175 ^{NS}	280 ^{NS}	43.214 ^{NS}	0.664 [†]
	M	34	14.754 ^{**}	20.014 ^{**}	811.597 ^{**}	450.762 ^{**}	12.803 [‡]
	H/M	105	3.046 ^{**}	3.411 ^{**}	595.119 ^{**}	340.298 ^{**}	5.431 [‡]
	Error	139	1.996	2.125	293.489	193.934	3.016
	CV %		1.768	1.797	10.734	18.747	13.568
	Media		79.896	81.132	159.607	74.286	12.799
	σ^2_M		1.463	2.075	27.060	13.808	0.922
	$\sigma^2_{H/M}$		0.525	0.643	150.815	73.182	1.207
FV		GL	Días a flor macho	Días a flor hembra	Altura de planta cm	Altura de mazorca cm	Rendimiento ton ha ⁻¹
Loc							
2	Rep	1	34.3 [*]	24.014 ^{NS}	3870.289 ^{**}	3075.657 ^{**}	4.269 [†]
	M	34	16.006 ^{**}	22.201 ^{**}	814.976 ^{**}	525.353 ^{**}	9.291 [‡]
	H/M	105	6.421 ^{NS}	7.590 ^{NS}	449.725 ^{**}	300.157 ^{**}	4.678 [‡]
	Error	139	5.365	6.209	202.786	168.269	2.470
	CV %		2.833	2.962	10.998	26.078	18.797
	Media		81.764	84.136	129.475	49.743	8.360
	σ^2_M		1.198	1.826	45.656	28.149	0.577
	$\sigma^2_{H/M}$		0.528	0.691	123.470	65.944	1.104

Cuadro A. 3 continuación.

Loc		FV	GL	Días a flor macho	Días a flor hembra	Altura de planta cm	Altura de mazorca cm	Rendimiento ton ha ⁻¹
3	Rep		1	13.289 NS	9.289 NS	988.129 NS	736.129 NS	0.041 NS
	M		34	64.935 **	67.223 **	882.878 **	471.442 **	16.231 **
	H/M		105	8.563 **	8.932 **	522.140 *	232.555 NS	12.496 **
	Error		139	4.966	5.210	377.766	192.553	5.874
	CV %			2.566	2.594	11.229	15.819	18.535
	Media			86.825	88.011	173.093	87.721	13.076
	σ^2_M			7.047	7.286	45.092	29.861	0.467
	$\sigma^2_{H/M}$			1.799	1.861	72.182	20.001	3.311

*, ** significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; NS, no significativo.

Loc 1, Celaya, Gto. (1998); Loc 2, Tepalcingo, Mor. (1999); Loc 3, Celaya, Gto. (1999); M, machos H/M, hembras dentro de machos; σ^2_M , varianza de machos; $\sigma^2_{H/M}$, varianza de hembras dentro de machos.

Cuadro A. 4. Cuadrados medios y componentes de varianza estimados de los análisis de varianza individuales para la población precoz.

Loc		FV	GL	Días a flor macho	Días a flor hembra	Altura de planta cm	Altura de mazorca cm	Rendimiento ton ha ⁻¹
1	Rep	1		0.411 ^{NS}	0.286 ^{NS}	912.071 ^{NS}	896 ^{NS}	1.321 ^{NS}
	M	34		32.432 ^{**}	36.036 ^{**}	3809.172 ^{**}	567.933 ^{**}	26.966 [*]
	H/M	140		5.906 ^{**}	5.777 ^{**}	399.214 ^{NS}	234.714 ^{NS}	6.796 [*]
	Error	174		2.515	2.314	325.577	248.874	2.698
CV %				2.281	2.157	7.455	11.585	12.423
Media				69.509	70.537	242.043	136.171	13.221
σ^2_M				2.653	3.026	340.996	33.322	2.017
$\sigma^2_{H/M}$				1.695	1.731	36.819	-7.080	2.049
Loc		FV	GL	Días a flor macho	Días a flor hembra	Altura de planta cm	Altura de mazorca cm	Rendimiento ton ha ⁻¹
2	Rep	1		34.571 ^{NS}	74.060 ^{NS}	1052.711 [*]	199.131 ^{NS}	57.435 ^{**}
	M	34		67.805 ^{**}	81.784 ^{**}	1763.269 ^{**}	1053.834 ^{**}	14.257 ^{**}
	H/M	140		20.440 ^{**}	28.423 ^{NS}	318.607 ^{NS}	262.627 ^{NS}	3.327 ^{**}
	Error	174		12.807	24.353	245.585	211.103	1.211
CV %				5.041	6.736	8.476	15.726	12.968
Media				70.989	73.260	184.889	92.389	8.486
σ^2_M				4.736	5.336	144.466	79.121	1.093
$\sigma^2_{H/M}$				3.816	2.035	36.511	25.762	1.058

Cuadro A. 4 continuación.

	FV	GL	Días a flor macho	Días a flor hembra	Altura de planta cm	Altura de mazorca cm	Rendim ton h
3	Rep	1	0.826 ^{NS}	0.560 ^{NS}	5245.786 ^{**}	3150 ^{**}	15.263
	M	34	60.270 ^{**}	52.202 ^{**}	949.253 ^{**}	946.630 ^{**}	42.067
	H/M	140	9.413 ^{**}	8.409 ^{**}	460.406 ^{NS}	409.929 [*]	10.494
	Error	174	3.343	3.284	472.803	315.230	3.913
	CV %		2.454	2.387	8.548	11.657	14.350
	Media		74.506	75.926	254.363	152.314	13.786
	σ^2_M		5.056	4.379	48.885	53.670	3.157
	$\sigma^2_{H/M}$		3.035	2.562	-6.199	47.349	3.290

*, ** significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; NS, no significativo.

Loc 1, Celaya, Gto. (1998); Loc 2, Tepalcingo, Mor. (1999); Loc 3, Celaya, Gto. (1999); M, machos; H/M, hembras dentro de machos; σ^2_M , varianza de machos; $\sigma^2_{H/M}$, varianza de hembras dentro de machos.