

# **APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS DE SEIS LINEAS DE MAIZ (*Zea mays L.*) EVALUADAS EN LA COMARCA LAGUNERA**

**EFRAIN DE LA CRUZ LAZARO**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN  
PRODUCCION AGRONOMICA**



Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"

Unidad Laguna – Subdirección de Postgrado

Torreón, Coahuila junio del 2000

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA

SUBDIRECCION DE POSTGRADO

APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS DE SEIS LINEAS DE MAIZ  
(*Zea mays L.*) EVALUADAS EN LA COMARCA LAGUNERA

TESIS

POR

EFRAIN DE LA CRUZ LAZARO

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

MAESTRO EN CIENCIAS  
EN PRODUCCION AGRONOMICA

COMITE PARTICULAR

Asesor Principal:

Dr. Emiliano Gutiérrez del Río

Asesor:

M.C. Armando Espinoza Banda

Asesor:

Ph.D. Vicente de Paul Alvarez Reyna

Dr. Raúl Villegas Vizcaino  
Jefe del Depto de Postgrado U.L.

Dr. Ramiro López Trujillo  
Subdirector de Postgrado

Torreón, Coahuila. Junio del 2000

## **DEDICATORIAS**

### **A DIOS**

Por haberme dado la existencia y permitirme lograr una más de mis metas.

### **A MIS PADRES**

**José Reyes de la Cruz Córdova y Ernestina Lázaro Olán**, por darme la vida, su amor y consejos llenos de sabiduría; les debo todo lo que soy. Los quiero mucho.

¡ Gracias, por ser mis padres!

### **A MIS HERMANOS**

**Marcos, Adan, Eliseo, José Luis y María Elizabeth**. Por haber compartido juntos los primeros años de nuestras vidas. por su apoyo moral, pero más que nada, por ese amor fraternal y deseos de superación para seguir adelante.

### **A ALGUIEN ESPECIAL**

**María del Pilar Ortiz S.**, con todo mi amor, respeto y admiración, gracias por tu apoyo e impulsarme a seguir adelante, por todos los gratos momentos que hemos compartido juntos, y por estar conmigo en mis tristezas y alegrías.

¡Gracias, por ser tu!

Para todos aquellos con los que cuento en los momentos tristes y alegres, pero por cuestión de espacio y de no recordar sus nombres, omito escribirlos.

¡Gracias!

## AGRADECIMIENTOS

A mi "Alma Mater" por haberme ofrecido la oportunidad de realizar los estudios de Postgrado.

Al Dr. Emiliano Gutiérrez del Río, por haber depositado su confianza en mi, para la realización de la presente investigación, y más aun por su amistad y asesoramiento.

Al M.C. Armando Espinoza Banda, por el apoyo brindado para la realización de la presente investigación, por sus valiosas sugerencias y por el tiempo dedicado a la revisión del mismo.

Al Ph. D Vicente de Paul Alvarez Reyna y al Ph.D Arturo Palomo Gil, por sus valiosas apreciaciones durante la revisión del presente trabajo.

AL Comité de evaluación por sus valiosas apreciaciones hechas a la presente investigación, en el transcurso del semestre enero – junio del 2000.

Un especial agradecimiento a la familia Cervantes Padrón, por la confianza que me han brindado, así como el apoyo recibido en todo momento.

A mis compañeros y amigos de la X generación: Cándido, Eulalio, José Fco., y Hector.

**COMPENDIO**

**POR**

**EFRAIN DE LA CRUZ LAZARO**

**MAESTRIA EN CIENCIA**

**PRODUCCION AGRONOMICA**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**UNIDAD LAGUNA**

**TORREON COAHUILA, JUNIO DEL 2000**

**Dr. Emiliano Gutiérrez del Río – Asesor**

**Palabras Clave:** *Zea mays L.*, Aptitud combinatoria, Mejoramiento Genético, Híbridos.

El presente trabajo fue realizado en la Comarca Lagunera en las localidades de San Pedro (El Retiro) y Torreón (UAAAN-UL) Coah. El objetivo del presente estudio fue conocer la aptitud combinatoria general (ACG) y la aptitud combinatoria específica (ACE), de seis líneas endogámicas de maíz: L-AN-123R (P<sub>1</sub>), L-AN-447 (P<sub>2</sub>), L-AN-360PV (P<sub>3</sub>), L-AN-130 (P<sub>4</sub>), L-AN-123 (P<sub>5</sub>) y L-AN-388R (P<sub>6</sub>). Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con dos

repeticiones por localidad. Para estimar los efectos de ACG y ACE, se utilizó el diseño II de Griffing (1956), la parcela experimental consto de cuatro surcos de 4 m de largo y 75 cm de ancho, con una distancia entre plantas de 25 cm.; en ambas localidades se midieron las variables: rendimiento (REND), índice de área foliar (IAF), índice de cosecha (IC), días a floración (DF) y altura de planta (ALTPLA). Los resultados del análisis combinado indican que los genotipos son diferentes entre sí. Los mejores genotipos para rendimiento fueron:  $P_4 \times P_6$ ,  $P_3 \times P_5$ ,  $P_3 \times P_4$ ,  $P_5 \times P_6$ ; en índice de área foliar todas las cruzas resultaron estadística mente iguales al 5%. En días a floración fueron más tardías las líneas con un intervalo de 84 a 81 días y las cruzas de 74.25 a 69.75 días. En altura de planta las cruzas fueron más altas que las líneas, teniendo las cruzas de 2.46 a 1.78 m de altura, y las líneas una altura de 1.88 a 0.94 m. El índice de cosecha para los híbridos tuvo valores de 41.15 hasta 25.86. En las líneas el IC vario de 9.44 a 20.99.

Tres líneas resultaron con efectos positivos de ACG para rendimiento, índice de área foliar, días a floración y altura de planta y cuatro para índice de cosecha. Para ACE, la mejor crusa para rendimiento fue la  $P_2 \times P_5$  teniendo efectos positivos para las demás características evaluadas, excepto para días a floración que fue negativa, para todas las características evaluadas se tienen cruzas con efectos positivos y negativos de ACE. Se encontraron efectos positivos de heterosis, tanto para media de progenitores como para el progenio: superior, por lo que se puede explotar en programas de formación de híbridos.

Los efectos genicos se caracterizan fundamentalmente por un efecto genético de dominancia, para todas las variables, por lo que la heredabilidad se estimó solo en el sentido amplio, excepto para IC. Se detectó sobredominancia para todas las características evaluadas.

En base a los resultados se asume que para todas las características analizadas se pueden utilizar los efectos de dominancia y heredabilidad para trabajar con híbridos.

# ABSTRACT

BY

EFRAIN DE LA CRUZ LAZARO

MASTER OF SCIENCE

IN

AGRONOMIC PRODUCTION

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA

TORREON COAHUILA, JUNIO DEL 2000

Dr. Emiliano Gutiérrez del Río – Advisor

**Key Words:** *Zea mays L.*, Heterosis, Combining ability, plant breeding

The present work was brought about at Comarca Lagunera; at San Pedro (El Retiro) and Torreón, Coahuila. The main objective of this study was to know the general combining ability (GCA) and the specific combining ability (SCA) of six corn endogamics lines: L-AN-123R (P<sub>1</sub>), L-AN-447 (P<sub>2</sub>), L-AN-360PV (P<sub>3</sub>), L-AN130 (P<sub>4</sub>), L-AN-123 (P<sub>5</sub>) AND L-AN-388R (P<sub>6</sub>). A complete randomized block experimental design with two replications at each location was used. The

experimental plot was of four rows, four meters long and 25 cm width size, the distance of the plants within rows was 25 cm. The variables measured at each location were: grain yield (YIELD), leaf area index (LAI), harvest index (HI), blooming data in days after planting date (BD), and plant height (PLAHEI). The combined analysis showed significant differences among genotypes. The best yielding genotypes were  $P_3 \times P_5$ ,  $P_3 \times P_4$ ,  $P_5 \times P_6$ . There were not significant differences among genotypes leaf area index. The parental lines were later in blooming date than the crosses. The parental lines needed from 81 to 84 days to blooming and the crosses needed from 70 to 74 days. The crosses grew taller than the lines. The plant height of the crosses ranged from 1.78 to 2.46 m whereas the plant size of the lines ranged from 0.94 to 1.88 m.

The Griffing diallel analysis showed three lines with high GCA for grain yield, LAI, blooming date and plant size. Four of the size lines showed a high harvest index GCA. The  $P_2 \times P_5$  cross showed the highest and positive SCA for all characters with exception of blooming date which showed a negative SCA.

All the crosses showed mid – parent and best parent positive heterosis for all the characteristics measured, so that the development of hybrids is possible.

The prevalent gene action for all the characteristics measured was the dominance (overdominance). This was the reason of the high wide heritability ( $H^2$ ). Due to the high heterosis and high wide heritability a hybrid development program could be set

## INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO.....	3
META.....	3
HIPOTESIS.....	3
II. REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1. Línea pura.....	4
2.2. Heterosis.....	5
2.3. Híbridos.....	7
2.4. Interacción Genotipo ambiente.....	9
2.5. Aptitud Combinatoria.....	10
2.6. Parámetros Genéticos ó Acción Génica.....	13
2.7. Heredabilidad.....	13
2.8. Diseños Dialélicos.....	14
2.9. Indice de Cosecha.....	16
III. MATERIALES Y METODOS .....	18
3.1. Area de Trabajo.....	18
3.2. Clima de la Cqmarca Lagunera.....	18
3.3. Material Genético.....	19
3.4. Formación de la serie dialélica.....	20
3.5. Diseño y Parcela Experimental.....	20

3.6. Preparación del terreno.....	21
3.7. Siembra.....	21
3.8. Fecha de siembra.....	21
3.9. Fertilización.....	22
3.10. Labores culturales.....	22
3.11. Toma de datos.....	22
3.12. Análisis Estadísticos.....	24
Análisis generales.....	24
Análisis de varianza dialélicos.....	26
Las Aptitudes combinatorias se estimaron.....	28
Heterosis .....	28
Componentes genéticos.....	28
IV. RESULTADOS.....	31
Análisis de varianza generales.....	31
Análisis dialelico.....	36
Heterosis.....	40
Heredabilidad.....	45
V. DISCUSIÓN.....	46
Análisis de varianza generales.....	46
Análisis de varianza dialelico.....	48
Heterosis.....	51
Heredabilidad.....	52
VI. CONCLUSIONES.....	56

VII. RESUMEN.....	58
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	60

## INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
Cuadro 3.1 Número, genealogía y principales características de seis líneas de maíz utilizadas como progenitores. UAAAN-UL. 1999.....	19
Cuadro 3.2 Esquema de las combinaciones posibles del cruzamiento dialélico entre las seis líneas.....	20
Cuadro 3.3. Análisis de varianza para el diseño estadístico bloques al azar.....	24
Cuadro 3.4. Análisis de varianza para el diseño estadístico combinado.....	25
Cuadro 3.5. Número de tratamiento, cruza y sus progenitores.....	26
Cuadro 3.6 Análisis de varianza para el método II de Griffing (1956)...	27
Cuadro 4.1. Cuadrados medios de los análisis de varianza individuales, para cinco características evaluadas en dos localidades. UAAAN-UL 1999.....	32
Cuadro 4.2. Cuadrados medios de los análisis de varianzas combinados, para cinco características. UAAAN-UL 1999.....	33
Cuadro 4.3. Prueba de significancia de DMS al 5% para las medias de combinado de las cinco características evaluadas. UAAAN-U 1999.....	35
Cuadro 4.4. Cuadrados medios del análisis de varianza para el Dialélico de Griffing (1956) del modelo II de efectos fijos. UAAAN-UL 1999.....	36
Cuadro 4.5. Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) para cinco características aplicando el modelo II de Griffing (1956) UAAAN-UL 1999.....	39
Cuadro 4.6. Heterosis en base al promedio de los progenitores (h) y a mejor progenitor (h') para el rendimiento (kg/ha) en las 15 cruza directas posibles de los seis progenitores. UAAAN-U 1999.....	40

Cuadro 4.7. Heterosis en base al promedio de los progenitores (h) y a mejor progenitor (h') para el IAF en las 15 cruzas directas posible de los seis progenitores. UAAAN-UL 1999.....	41
Cuadro 4.8. Heterosis en base al promedio de los progenitores (h) y a mejor progenitor (h') para días a floración en las 15 cruzas directa posibles de los seis progenitores. UAAAN-UL 1999.....	42
Cuadro 4.9. Heterosis en base al promedio de los progenitores (h) y a mejor progenitor (h') para altura de planta en las 15 cruzas directa posibles de los seis progenitores. UAAAN-UL 1999. ....	43
Cuadro 4.10. Heterosis en base al promedio de los progenitores (h) y al mejor progenitor (h') para el índice de cosecha en las 15 cruzas directas posibles de los seis progenitores. UAAAN-UL 1999.....	44
Cuadro 4.11. Cuadro de varianzas, heredabilidad en el sentido amplío ( $H^2$ ) y en el sentido estrecho ( $h^2$ ) y dominancia (d), para seis líneas evaluadas en dos localidades. UAAAN-UL 1999.....	45

## INTRODUCCION

En México, el maíz es la base de la alimentación de sus habitantes, con una población en constante crecimiento. De tal manera, que representa la base de la agricultura nacional, con más del 70% de las tierras cultivadas; sin embargo no hemos sido capaces de alcanzar la autosuficiencia en la producción. Por lo que el país se ve obligado a importar grandes cantidades de dicho grano básico para poder satisfacer la demanda alimenticia.

Las semillas mejoradas representan un volumen aproximado de cien mil toneladas que se ocupan para sembrar cerca del 50 por ciento del total de la superficie de maíz en México, según los cálculos de la Asociación Mexicana de Semilleros que representa a las empresas comercializadoras; del volumen total de semillas mejoradas que se utilizan anualmente, casi 65000 toneladas corresponden a materiales híbridos y un poco más de 32000 toneladas son variedades de polinización libre.

El mejoramiento del maíz es un proceso continuo y constante en la formación de híbridos y variedades para uso comercial. El conocimiento de los diversos tipos de acción genica y la relativa importancia de estos en la determinación de ciertos caracteres de interés, es básico para lograr rápidos

avances en un programa de mejoramiento genético; uno de los sistemas ideados para conocer y evaluar la acción genica de caracteres cuantitativos es el de cruzamientos dialelicos que permiten determinar las combinaciones superiores, seleccionar los mejores progenitores y diseñar los métodos de mejoramiento más eficientes. En el presente trabajo se persigue determinar los efectos de Aptitud combinatorias específica (ACE) de las cruzas y aptitud combinatoria general (ACG) de las seis líneas que intervinieron en el Dialelico de Griffing.

## OBJETIVO

\*De seis líneas identificar las que tengan la mayor aptitud combinatoria general y las cruzas de mayor aptitud combinatoria específica, basándose en su comportamiento genético a través de los ambientes evaluados, para formar híbridos dobles y triples a futuro.

## META

\*Formar híbridos que se adapten a las condiciones ambientales de la región Lagunera.

## HIPOTESIS

$H_0$  = Las líneas transmiten las mismas aptitudes combinatorias a su progenie híbrida.

$H_a$  = Las líneas se comportan diferente en la transmisión de aptitudes a su progenie híbrida.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Línea Pura

Los resultados más importantes del proceso de autofecundación y selección en el maíz reportados por Hayes (1952) son:

a) Todas las líneas autofecundadas de maíz muestran una pérdida en vigor durante las subsecuentes autofecundaciones. Ésta es mayor en la primera generación y menor en cada una de las generaciones sucesivas hasta llegar a la homocigosis, después de la cual ya no hay pérdida en vigor.

b) Las líneas autofecundadas presentan diferencias en muchas características normales tales como: altura de planta y mazorca, madurez, longitud de mazorca, rendimiento, resistencia a plagas y enfermedades, adaptabilidad, etc.

c) Algunas líneas autofecundadas tienen mayor vigor que otras aunque no difieren en su grado de homocigosis.

d) Otras más son tan faltas de vigor que ya no se pueden propagar aun en las mejores condiciones de cultivo.

Jugenheimer (1990) indica que el método clásico para desarrollar líneas puras endocriadas comprende generalmente la selección de las plantas

durante un período de autofecundación sobre la base de la apariencia física de un surco de plantas sembradas con semilla de la misma mazorca. Para la formación de líneas autofecundadas, es necesario partir de poblaciones previamente seleccionadas sobre la base de su amplia variabilidad genética.

Chávez (1995) menciona que una línea autofecundada es aquella que es pura, originada generalmente por autopolinizaciones sucesivas y selección, hasta obtener plantas aparentemente homocigotas. Esto requiere de cinco a siete generaciones de autofecundación. Una línea autofecundada por seis o siete generaciones sucesivas se puede diferenciar fácilmente de otra; cuando esto sucede, se dice que la línea es altamente homocigota, o sea que todas las plantas de esa línea tienen la misma constitución genética en lo referente a las unidades de herencia. Estas unidades se transmiten en un 100% tanto a través de su polen como de sus óvulos.

## **2.2 Heterosis**

Crees (1956) en su investigación con la fisiología de la acción génica en los híbridos, afirma que: las interacciones entre la actividad génica y el medio ambiente son muy importantes. El vigor híbrido generalmente se determina para caracteres como tamaño o rendimiento, pero estos son solo productos finales de los procesos metabólicos, cuyos patrones están en los genes. Estos procesos pueden verse acelerados, inhibidos o modificados por efecto de los factores ambientales.

Hayes (1952), en su estudio del desarrollo del concepto de la heterosis, considera a esta como la expresión normal de un carácter complejo cuando los genes concernientes, están en condiciones de alta heterocigosis. Como la mayoría de los caracteres normales son el resultado de la acción, reacción, e interacción de un número incontable de genes y como la mutación génica ocurre constantemente, aunque relativamente infrecuente, puede ser imposible obtener todos los genes esenciales en el estado más favorable de homocigosis.

Jugenheimer (1990), señala que la heterosis se manifiesta a sí misma principalmente en las plantas de la generación F1 provenientes de semillas. La heterosis es un fenómeno en el cual el cruzamiento de dos variedades produce un híbrido que es superior en crecimiento, tamaño, rendimiento o en vigor general. El vigor, el rendimiento y la mayoría de los caracteres de importancia económica del maíz son de naturaleza cuantitativa y están controlados por un gran número de genes. Los efectos de estos genes pueden diferir ampliamente. La acción génica puede ser aditiva, no aditiva o aditiva de dominancia. El grado de dominancia, la epistasis y las interacciones genético - ambientales se suman a la complejidad del fenómeno de la heterosis.

Gómez y Valdivia (1988), mencionan que para obtener mejor respuesta heterotica sería conveniente combinar germoplasma proveniente de diferentes áreas de adaptación para dar oportunidad de explotar al máximo la heterosis.

Sobre lo mismo Puertas (1992), señala que el cruzamiento de algunas líneas endogámicas produce híbridos de caracteres muy superiores, no solo a los de las líneas parentales, sino también a las poblaciones iniciales de donde se obtuvieron las líneas endogámicas. Este fenómeno se conoce como vigor híbrido o heterosis.

Vasal y Córdova (1996) señalan que de tiempo en tiempo han sido expresados varios conceptos, definiciones y explicaciones de la heterosis y a menudo de maneras contradictorias. Por lo que los genetistas cuantitativistas ven la heterosis de manera diferente que los fitomejoradores prácticos, quienes están interesados en la identificación de híbridos que son superiores al mejor de los progenitores. También han sido mencionadas varias variantes de heterosis, tales como euheterosis y heterobeltiosis, pero en la práctica el uso de estos términos es nulo.

### **2.3 Híbridos**

Chávez y López (1995), señalan que el maíz híbrido es la primera generación de una cruce entre líneas autofecundadas, involucrando la producción de híbridos:

- a) la obtención de líneas autofecundadas por autopolinización controlada.
- b) La determinación de cuáles de las líneas autofecundadas pueden combinarse en cruces positivas.
- c) Utilización comercial de las cruces para la producción de semilla.

Existiendo los siguientes tipos de híbridos:

a) Simple

Es un híbrido creado mediante el cruzamiento de dos líneas endogámicas, la semilla de híbridos F1 es la que se vende a los agricultores para la siembra, por lo común los híbridos simples son más uniformes y tienden a presentar un mayor potencial de rendimiento en condiciones ambientales favorables

b) Triple

Se forma con tres líneas autofecundadas, es decir, son el resultado de un cruzamiento entre una cruce simple y una línea autofecundada. La cruce simple como hembra y la línea pura como macho. Con frecuencia, se pueden obtener mayores rendimientos con una cruce triple que con una cruce doble, aunque las plantas de una cruce triple no son tan uniformes como las de una cruce simple.

c) Doble

El híbrido doble se forma a partir de cuatro líneas autofecundadas, es decir, es la progenie híbrida obtenida de una cruce entre dos cruces simples. Los híbridos dobles no son tan uniformes como las cruces simples, por lo que presentan mayor variabilidad; es importante señalar que una cruce simple produce mayor rendimiento que una triple y ésta a su vez más que la doble.

## 2.4 Interacción Genotipo Ambiente.

Comstock y Moll (1963), mencionan que el desarrollo del genotipo es influenciado por causas genéticas y no genéticas, y que estos dos factores no actúan independientemente, esto es lo que se conoce como interacción genotipo medio ambiente. Uno de los efectos importantes de esta interacción es que se reduce la correlación entre el fenotipo y genotipo con el resultado que las inferencias se vuelvan más complicadas.

Márquez (1988) menciona que el problema de la interacción genotipo ambiente en México reviste una mayor importancia que en otros países, por sus condiciones naturales y por sus características socioeconómicas. Es conocida la diversidad ecológica de la república, sin necesidad de recorrer grandes distancias en ocasiones para cambiar repentinamente de un ambiente a otro.

Cuando se ha llegado a la conclusión de la universalidad del fenómeno de la interacción genotipo ambiente, basada en una profusión de resultados experimentales de muy variadas fuentes y contenidos, no se puede seguir ignorando dicho componente y continuar definiendo al genotipo de un individuo como la resultante de su patrimonio genético y del medio ambiente en que se desarrolla; hace falta prestar atención también a la forma en que el segundo actúa sobre el primero o sea al efecto adicional de la interacción (Márquez, 1992).

Livera (1992), menciona que la expresión fenotípica depende de los efectos genéticos ambientales y de su interacción; por lo tanto, es importante estudiar el efecto de los factores ambientales en las respuestas de las plantas. Considerando que el crecimiento, desarrollo y producción de una planta depende de procesos fisiológicos y estos a su vez dependen de interacciones complejas entre el estado de la planta, estado de la atmósfera circundante y la propia naturaleza de los mecanismos o procesos fisiológicos y físicos de la planta, solo a través del mejor entendimiento de las respuestas fenológicas y fisiológicas de los cultivos al ambiente físico, y de las interacciones genotipo ambiente, se podrá contribuir a mejorar la eficiencia del proceso productivo de las plantas y de su mejoramiento genético.

Márquez (1992) define a la interacción genotipo - ambiente como " El comportamiento relativo diferencial que exhiben los genotipos cuando se les somete a diferentes medios ambientes."

## **2.5 Aptitud Combinatoria**

Sprague y Tatum (1942) propusieron las técnicas que comprenden actualmente las cruzas dialélicas y que se originaron en el desarrollo de los conceptos de aptitud combinatoria general y específica. El término aptitud combinatoria general (ACG) lo emplearon para designar al comportamiento promedio de una línea en combinaciones híbridas, a través de sus cruzamientos con un conjunto de líneas diferentes; a su vez, el término

aptitud combinatoria específica (ACE) lo emplearon para designar a la desviación que presenta la progenie de una cruce determinada, con respecto al promedio de sus padres. Para Márquez (1988), el término aptitud combinatoria significa la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, dicha capacidad medida por medio de su progenie. Sin embargo, la aptitud combinatoria debe de determinarse no en un solo individuo de la población sino en varios, a fin de poder realizar selección de aquellos que exhiban la más alta.

Luchsinger y Violín (1972) determinaron la ACG y la ACE en un dialélico con 10 líneas usando el método 4 de Griffing, y encontraron significancia para ambos efectos, pero los efectos aditivos fueron más importantes para los componentes de rendimiento que para rendimiento.

Hoegenmeyer y Hallauer (1976), señalaron que en un programa de mejoramiento cuya finalidad sea la obtención de híbridos, la aptitud combinatoria específica (ACE) será más importante que la aptitud combinatoria general (ACG), ya que se puede hacer mejor uso de los efectos no aditivos como son la dominancia y epistasis. Al respecto, indicaron que la varianza para la ACG explica la porción de la varianza genotípica que es debida a los efectos aditivos de los genes, mientras que la varianza para la ACE indica la porción de la varianza genotípica que puede deberse a las desviaciones de dominancia.

Jugenheimer (1990), señala que la ACG proporciona información sobre que líneas puras deben producir las mejores cruzas; los probadores deben seleccionarse por su buena capacidad de combinación con otras líneas. Por su heterogeneidad, las variedades de polinización libre y los sintéticos son utilizadas generalmente para determinar la ACG. La cual es el desempeño individual de una línea pura en una combinación híbrida promedio; por lo tanto, pueden usarse probadores adecuados para determinar que líneas pueden sustituirse en los híbridos actuales o usarse en nuevos híbridos prometedores. La ACG es el desempeño promedio de una línea pura en algunas combinaciones híbridas. La ACG proporciona información sobre que líneas puras deben producir los mejores híbridos cuando se cruzan con muchas otras líneas. La ACE es el desempeño individual de una línea pura en una combinación híbrida específica.

Chávez (1995) señala que la selección de líneas es un serio problema y además es la fase más importante de un programa de mejoramiento de plantas. Los fitomejoradores han tratado de encontrar métodos simples e indirectos de evaluación de líneas que permitan detectar a las más sobresalientes. Así fue, como Sprague y Tatum (1942) propusieron las pruebas de ACG y de ACE.

Vasal y Córdova (1996), mencionan que la aptitud combinatoria es un aspecto importante en todo programa de producción de híbridos. Progenitores con una alta ACG son primeramente identificados y posteriormente puestos en

combinaciones híbridas específicas. Para ACG se llevan a cabo pruebas tempranas, intermedias o tardías.

## **2.6 Parámetros Genéticos ó Acción Génica**

Martínez (1983), señala que las cruzas dialélicas, las cuales comprenden las cruzas simples posibles obtenidas de un conjunto básico de líneas progenitoras, constituyen un procedimiento estándar de investigación en la genética de las plantas. Las cruzas dialélicas se emplean para estimar los componentes genéticos de la variación entre los rendimientos de las propias cruzas, así como su capacidad de producción.

## **2.7 Heredabilidad**

Allard (1980); define a la heredabilidad como la proporción de la variabilidad observada debida a los efectos aditivos de los genes. Brauer (1981), indica que los estudios de heredabilidad son de utilidad para evaluar qué parte de la variación total observada en un carácter corresponde a factores genéticos y que parte a factores ambientales.

Chavez (1995) señala que la heredabilidad se refiere a la capacidad que tienen los caracteres para transmitirse de generación a generación, o sea, que está se puede considerar como el grado de parecido entre los individuos de una generación y la siguiente.

La heredabilidad puede estimarse en dos sentidos:

-heredabilidad en el sentido amplio ( $H^2$ ) estima el grado en que el fenotipo refleja al genotipo, y está constituida por la varianza genética aditiva y no aditiva

-Heredabilidad en el sentido estricto ( $h^2$ ) se estima a través de la suma de los efectos de genes aditivos que el progenitor hereda a su descendencia.

Para tales efectos se considera, que las condiciones variables reducen la heredabilidad, mientras que las condiciones más uniformes la aumentarían. Lo que se entiende por alta o baja heredabilidad no está bien definido, pero en general son aceptables los siguientes valores.

-Alta heredabilidad mayor de 0.5

-Heredabilidad media de 0.2 a 0.5

-Baja heredabilidad menor de 0.2

Córdova y Vasal (1996) mencionan que la heredabilidad para rendimiento aumenta conforme cambia de medios hermanos a hermanos completos y a progenies autofecundadas  $S_1$  y  $S_2$ .

## 2.8 Diseños Dialélicos

Griffing (1956) conceptualiza las cruces dialélicas como el procedimiento en el cual un grupo de  $P$  líneas o progenitores se cruzan entre sí tantas veces como sea posible para generar así un máximo de  $P^2$  cruzamientos, los cuales pueden ser representados en una matriz de  $P \times P$  elementos. Con respecto a lo

anterior el autor presentó cuatro métodos para el análisis de cruzas dialélicas:

- 1) incluye padres, F1 directas y F1 recíprocas, 2) incluye padres y F1 directas,
- 3) incluye F1 directas y F1 recíprocas, y 4) incluye solamente las F1 directas.

Martínez (1983), menciona que existen fundamentalmente dos clases de experimentos de cruzas dialélicas, a saber: 1) los experimentos dialélicos completos, y 2) los experimentos dialélicos parciales. Los primeros fueron introducidos formalmente por Griffing (1956) y que tienen las limitaciones de tamaño de dichos experimentos, y sus desventajas en cuanto a las diferencias en la precisión de las estimaciones, han conducido a los investigadores al empleo de experimentos parciales.

Alvarado (1987), señala que existen muchos métodos para analizar datos provenientes de un grupo de padres y sus  $p(p-1)/2$  cruzas simples. Sin embargo, el análisis propuesto por Gardner y Eberhart en 1966 (citado por Alvarado 1987) provee la máxima información. Debido a que el modelo asume frecuencias de genes arbitrarios en todos los loci, es aplicable a un grupo fijo de padres, ya sean estas líneas endogámicas o variedades de polinización libre en equilibrio. Otra característica que hace que el modelo sea de mucha utilidad es que las variedades y las cruzas pueden ser predichas y, cuando los efectos específicos y los efectos heteróticos son de poca importancia, los valores predichos para las cruzas tienen errores estándar menores que los errores correspondientes a las medias de los valores observados. Además, los

estimados de los efectos génicos son definidos en función de frecuencias de genes.

## **2.9.- Índice de cosecha**

Singh y Stoskopf (1971), indican que el índice de cosecha (IC), en el caso del maíz, es la relación, expresada en porcentaje, entre el peso seco del grano y el peso seco total, o sea  $(\text{rendimiento económico}/\text{rendimiento biológico}) \times 100$ . El rendimiento económico es solamente una fracción de la materia seca total producida por la planta, el IC es una forma útil para medir la eficiencia de la planta en la producción de su rendimiento. El rendimiento económico ha sido clasificado como un carácter cuantitativo complejo, cuya expresión depende del funcionamiento y de la interacción de muchos componentes de procesos fisiológicos, los cuales varían con el genotipo. En los cereales existe gran variabilidad en IC, así como una correlación positiva con el rendimiento de grano, lo cual sugiere la posibilidad de mejorar genéticamente el IC, y de esta forma incrementar el rendimiento de grano.

En maíz, Crosbie y Mock (1981) consignan alguna variación importante en el IC, como resultado de cambios en caracteres fisiológicos por efecto de la selección para rendimiento de grano. En la población Lancaster C5, se encontró más eficiencia del área foliar y mayor producción de materia seca con relación al ciclo 0; pero el IC no cambio con los ciclos de selección. En cambio, en las poblaciones BSSS®C7 y BSCB1®C7, hubo una mayor acumulación de

materia seca en el grano, mejorándose el IC con relación a sus respectivas poblaciones originales.

Pons *et al.*(1991), mencionan que en los cereales existe gran variabilidad en el IC, así como una correlación positiva con el rendimiento de grano, lo cual sugiere la posibilidad de mejorar genéticamente el IC, y de esta forma incrementar el rendimiento de grano. El índice de cosecha de híbridos recientes no disminuye con altas densidades de plantas (Tollenaar, 1989).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Area de trabajo**

El presente trabajo se realizó en 1999, en los campos experimentales de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" Unidad Laguna, localizada en la Comarca Lagunera, entre los paralelos 24° 30' y 27° de latitud Norte y los 102° 40' longitud Oeste, a una altura de 1200 msnm., con temperatura media anual de 21°C y precipitación media anual de 220 mm. (Atlas Nacional del Medio Físico 1982)

#### **3.2 Clima de la Comarca Lagunera**

De acuerdo a la clasificación de climas de Thorthwaite y según el Atlas Nacional del Medio Físico (1982), modificada por Alfonso Contreras, la Comarca Lagunera en casi toda su área cultivable, tiene clima muy seco con deficiencia de lluvia en todas las estaciones, temperatura semicálida con invierno benigno (Ed B1,"b"); exceptuando la parte norte de los municipios de Francisco I. Madero y San Pedro, cuyo clima es seco con temperatura semicálida e invierno benigno y seco (D1B1, "b").

Según el sistema de W. Koeppen la mayor parte del área cultivable de la Comarca Lagunera tiene un clima seco de desierto (con vegetación xerófila o sin ella), llueve durante el verano. Temperatura caliente con media anual  $\geq 18^{\circ}\text{C}$  y la media del mes más caluroso  $\geq 18^{\circ}\text{C}$  (BWhw); excepto en la parte sur de los municipios de Viesca y Torreón, cuyo clima es desértico, llueve durante el verano  $r \leq T + 14$ , temperatura fría con media anual  $\leq 18^{\circ}\text{C}$  y la media del mes más caluroso de  $\geq 18^{\circ}\text{C}$  (BWhw).

### 3.3 Material genético

El material utilizado en la realización del presente trabajo se fue de seis líneas de maíz cuya genealogía y principales características, se presenta en el Cuadro 3.1

**Cuadro 3.1** Número, genealogía y principales características de seis líneas de maíz utilizadas como progenitores. UAAAN-UL. 1999.

No	Genealogía	Altura	Floración
1	L-AN-123R	1.63	81
2	L-AN-447	1.87	83
3	L-AN-360PV	1.36	82
4	L-AN-130	1.56	82
5	L-AN-123	1.27	84
6	L-AN-388R	0.94	81

**Nota:** A partir del cuadro anterior las líneas se designaran con el número consecutivo que le corresponde y la letra "P".

### 3.4 Formación de la serie dialélica

En el ciclo agrícola Primavera-Verano (P-V) de 1999 se realizaron los cruzamientos dialélicos. El número de cruza posibles sin considerar recíprocas es de  $n(n-1)/2$ , por lo que el presente trabajo contó con un total de 15 cruza diferentes además de las 6 cruza fraternales, lo cual da un total de 21 genotipos diferentes. Tal como se presenta en el cuadro 3.2

**Cuadro 3.2** Esquema de las combinaciones posibles del cruzamiento dialélico entre las seis líneas.

		P 1	A 2	D 3	R 4	E 5	S 6
P	1	P <sub>1</sub> , P <sub>1</sub> *	P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub> , P <sub>3</sub>	P <sub>1</sub> , P <sub>4</sub>	P <sub>1</sub> , P <sub>5</sub>	P <sub>1</sub> , P <sub>6</sub>
A	2		P <sub>2</sub> , P <sub>2</sub> *	P <sub>2</sub> , P <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> , P <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> , P <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> , P <sub>6</sub>
D	3			P <sub>3</sub> , P <sub>3</sub> *	P <sub>3</sub> , P <sub>4</sub>	P <sub>3</sub> , P <sub>5</sub>	P <sub>3</sub> , P <sub>6</sub>
R	4				P <sub>4</sub> , P <sub>4</sub> *	P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub>	P <sub>4</sub> , P <sub>6</sub>
E	5					P <sub>5</sub> , P <sub>5</sub> *	P <sub>5</sub> , P <sub>6</sub>
S	6						P <sub>6</sub> , P <sub>5</sub> *

\* Cruza fraternales.

En cada cruzamiento se utilizaron 5 plantas de cada línea, cosechándose de 4 a 5 mazorcas por cruza, lo cual permitió obtener suficiente semilla para realizar los ensayos.

### 3.5 Diseño y parcela experimental

El material genético, constituido por las 15 cruza dialélicas y sus seis cruza fraternales o progenitores, fueron evaluadas en ensayos uniformes en

las localidades; Torreón (U.A.A.A.N.U.L.) y San Pedro Coah. (El Retiro)

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con dos repeticiones. La parcela total constó de 4 surcos de 3 m de largo y 75 cm de ancho, con una distancia entre plantas de 25 cm. La parcela útil se constituyó de dos surcos centrales de 3 m de longitud.

### **3.6 Preparación del terreno**

La preparación del terreno se realizó de acuerdo al paquete tecnológico regional existente para el cultivo de maíz, el cual consistió en barbecho, riego de presembrado, rastreo cruzado y surcado.

### **3.7 Siembra**

En cada parcela se sembraron tres granos por mateado y 30 días después se aclareo a una planta por mateado, lo que da como resultado una población de 52,500 plantas por hectárea.

### **3.8 Fecha de siembra**

La siembra se realizó en las siguientes fechas: localidad UAAAN-UL el 18 de agosto y la localidad San Pedro el 21 de agosto.

### **3.9 Fertilización**

En ambos experimentos la fertilización se realizó con la fórmula 120-60-00, utilizando los siguientes fertilizantes: urea (46-00-00) y super fosfato triple (00-46-00), lo cual se aplicó la mitad de nitrógeno y todo el fósforo al momento de la siembra y la otra mitad al realizarse el primer cultivo.

### **3.10 Labores culturales**

El control de maleza se realizó por medio de limpieza manual, un cultivo a los 30 días y un aporqué.

### **3.11 Toma de datos**

En las 2 localidades experimentales se evaluaron las siguientes características:

1. Días a floración: Los datos, se determinaron en base a los días transcurridos de la siembra, hasta cuando el 50% de las plantas de cada parcela estaban en período de antesis.
2. Altura de planta: Distancia en metros de la superficie del suelo al punto superior de la espiga. En cinco plantas por parcela.
3. Índice de área foliar (IAF): Se midió con el LAI-2000, utilizándose el filtro de luz de 90°. La calibración del número de lecturas que se debían tomar para estimar el IAF de una parcela se realizó con la

formula que marca el manual, la cual es:

$$A = f\pi H^2$$

En donde:

A = numero de lecturas que se deben tomar para obtener el IAF

f = valor correspondiente a los grado del filtro

H = altura del cultivo

4. Rendimiento: Para tener un rendimiento no sesgado por parcelas, se realizo el ajuste utilizando la corrección denominada metodología de Iowa (Callejas 1986)

$$pcf = pcx \frac{H - 0.3M}{H - M}$$

En donde:

Pcf = peso corregido por fallas

Pc = peso de campo

H = numero de plantas por parcela útil

M = numero de fallas por parcela

0.3 = Coeficiente de corrección de la sobreproducción registrada en las plantas debida a la menor competencia causada por fallas.

5. Índice de cosecha = 
$$\frac{\text{peso de 5 mazorcas}}{\text{peso de 5 mazorcas} + \text{peso de las 5 plantas}} * 100$$

### 3.12 Análisis estadísticos

#### Análisis generales

En la primera etapa se efectuó el análisis de varianza individual para cada una de las cinco características evaluadas en cada una de las localidades; Posteriormente se realizó un análisis combinado para cada una de las características evaluadas. Al análisis combinado se le aplicó la prueba de diferencia mínima significativa (D.M.S) al 5 por ciento.

**Cuadro 3.3.** Análisis de varianza para el diseño estadístico bloques al azar.

F. V.	GL	SC	CM	F
TRAT.	$t - 1$	$\frac{\sum_{i=1}^t y^2 \cdot i}{b} - \frac{y^2 \cdot \cdot}{ij}$	$\frac{SCTRAT}{t - 1}$	$\frac{CMTRAT}{CME}$
BLOQUES	$b - 1$	$\frac{\sum_{j=1}^b y^2 \cdot j}{t} - \frac{y^2 \cdot \cdot}{ij}$	$\frac{SCBLOQUES}{B - 1}$	$\frac{CMBLOQUES}{CME}$
ERROR	$(t-1)(b-1)$	Por diferencia	Por diferencia	
TOTAL	$(t)(b)-1$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b y^2 ij - \frac{y^2 \cdot \cdot}{tr}$	$\frac{SCTOTAL}{(t)(b) - 1}$	

**Cuadro 3.4.** Análisis de varianza para el diseño estadístico combinado.

F.V	GL	SC	CM	F
LOC	$l-1$	$\frac{\sum_{k=1}^l y^2 \cdot k}{tr} - \frac{y^2 \dots}{ijk}$	$\frac{SCLOC}{l-1}$	$\frac{CMLOC}{CME}$
REP/LOC	$(r-1)l$	$\frac{\sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^l y^2 \cdot jk}{t} - \frac{\sum_{k=1}^l y^2 \cdot k}{tr}$	$\frac{SCREP/LOC}{(r-1)l}$	$\frac{CMREP/LOC}{CME}$
TRAT	$t-1$	$\frac{\sum_{i=1}^t y^2 i \dots}{rl} - \frac{y^2 \dots}{ijk}$	$\frac{SCTRAT}{t-1}$	$\frac{CMTRAT}{CME}$
LOC X TRAT	$(l-1)(t-1)$	$\frac{\sum_{i=1}^t \sum_{k=1}^l i \cdot k}{r} - \frac{\sum_{i=1}^t y^2 i \dots}{rl} - \frac{\sum_{k=1}^l y^2 \cdot k}{tr} + \frac{y^2 \dots}{ijk}$	$\frac{SCLOCXTRAT}{(l-1)(t-1)}$	$\frac{CMLOCXTRAT}{CME}$
ERROR	$(t-1)(l-1)(r-1)$ $trl-1$	Por diferencia	Por diferencia	
TOTAL		$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^l y^2 ijk - \frac{y^2 \dots}{ijk}$		

El análisis combinado se realizó de las 15 cruzas y a sus 6 progenitores como tratamientos, en el orden en que se muestran en cuadro 3.5.

**Cuadro 3.5.** Número de tratamiento, cruzas y sus progenitores.

TRATAMIENTO	GENEALOGIA	CRUZA
1	L-AN-130 x L-AN-388R	P <sub>1</sub> xP <sub>2</sub>
2	L-AN-123 x L-AN-388R	P <sub>1</sub> xP <sub>3</sub>
3	L-AN-123R x L-AN-388R	P <sub>1</sub> xP <sub>4</sub>
4	L-AN-447 x L-AN-388R	P <sub>1</sub> xP <sub>5</sub>
5	L-AN-360PV x L-AN-388R	P <sub>1</sub> xP <sub>6</sub>
6	L-AN-123R x L-AN-123	P <sub>2</sub> xP <sub>3</sub>
7	L-AN-447 x L-AN-123	P <sub>2</sub> xP <sub>4</sub>
8	L-AN-360PV x L-AN-123	P <sub>2</sub> xP <sub>5</sub>
9	L-AN-130 x L-AN-123	P <sub>2</sub> xP <sub>6</sub>
10	L-AN-360PV x L-AN-130	P <sub>3</sub> xP <sub>4</sub>
11	L-AN-447 x L-AN-130	P <sub>3</sub> xP <sub>5</sub>
12	L-AN-123R x L-AN-130	P <sub>3</sub> xP <sub>6</sub>
13	L-AN-123R x L-AN-360PV	P <sub>4</sub> xP <sub>5</sub>
14	L-AN-447 x L-AN-360PV	P <sub>4</sub> xP <sub>6</sub>
15	L-AN-123R x L-AN-447	P <sub>5</sub> xP <sub>6</sub>
16	L-AN-123R	P <sub>1</sub>
17	L-AN-447	P <sub>2</sub>
18	L-AN-360PV	P <sub>3</sub>
19	L-AN-130	P <sub>4</sub>
20	L-AN-123	P <sub>5</sub>
21	L-AN-388R	P <sub>6</sub>

### Análisis de varianza dialélicos.

Los procedimientos estadísticos utilizados para analizar la aptitud combinatoria del material genético incluido en este estudio fueron desarrollados de acuerdo a la metodología del método II de efectos fijos del dialélico de Griffing (1956). El cual es:

$$\bar{Y}_{ijk} = u + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ijk},$$

$$1 < i, j < p, k=1,2,\dots,r,$$

Donde:

**U** = media poblacional

$Y_{ijk}$  = Valor fenotípico observado de la cruce con progenitores  $i$  y  $j$ , en el bloque  $k$ , o un efecto común a todas las observaciones.

$g_i$  = Efecto de la aptitud combinatoria general del progenitor  $i$ ,

$g_j$  = Efecto de la aptitud combinatoria general del progenitor  $j$ ,

$s_{ij}$  = Efecto de la aptitud combinatoria específica de la cruce ( $i, j$ ),

$e_{ijk}$  = Efecto ambiental aleatorio correspondiente a la observación ( $i, j, k$ ).

El análisis de varianza para el método II de Griffing incluye padres y cruces directas usando la fórmula  $P(P-1)/2$ , la cual da el número total de cruces  $F_1$  entre los progenitores, el modelo se describe como sigue:

**Cuadro 3.6** Análisis de varianza para el método II de Griffing (1956)

F V	G L	S C	C M	E C M
Repeticiones	$r-1$	$\sum_k [2y^2 \dots_k / p(2q+p-1) - [2y^2 \dots / rp (2q+p-1)]$		
Cruzas	$p[(p+1)/2]-1$	$\sum_i [y^2_{ij} / rq] + \sum_{j < i} [y^2_{ij} / r] - [2y^2 \dots^2 / rp(2q+p-1)]$		
ACG	$p-1$	$\sum_i [G^2_i / r(4p+p-2)] - [4y \dots^2 / rp(4q+p-2)]$		$\sigma^2_e + [r(4q^2+p-2)/4q+p-2\sigma_s] + 4q+p-2\sigma_g^2$
ACE	$P(p-1)/2$	SCCRUZAS X SCACG		$\sigma^2_e r(4q+p-2)^2 - (4q+p-2) / (2q+p-1)(4q+p-2)\sigma_e^2$
Error	Por dif.	Por dif.		$\sigma_e^2$
Total	$[rp(2q+p-1)/2]-1$	$\sum_i \sum_j \sum_k y^2_{ijk} - [2y^2 \dots / rp(2q+p-1)]$		

## Las aptitudes combinatorias se estimaron

a) Ecuación que estima la ACG

$$acg = \frac{1}{n+2} \left[ \sum (Y_{i.} + Y_{ii}) - \frac{1}{n} Y_{..} \right]$$

b) Ecuación que estima la ACE

$$ace = Y_{ij} - \frac{1}{n+2} (Y_{i.} + Y_{ii} + Y_{.j} + Y_{jj}) + \frac{2}{(n+1)(n+2)} Y_{..}$$

## Heterosis

Considerando las características evaluadas en las 15 cruzas simples posibles obtenidas a partir de las seis líneas, se calculó la heterosis en base al promedio de los progenitores (h) y en base al progenitor superior (h'), como se indica a continuación (Vasal y Córdova 1996):

$$h = F_1 - P_m / P_m (100)$$

$$h' = F_1 - P_s / P_s (100)$$

Donde:

$F_1$  = Primera generación de la craza

$P_m$  = Progenitor medio =  $P_i + P_j / 2$

$P_s$  = Progenitor superior

## Componentes genéticos

a) Varianza aditiva: Esta es estimada por el equivalente de dos veces la varianza de aptitud combinatoria general.

$$\sigma_{ACG}^2 = 1/2 \sigma_A^2$$

En donde:

$\sigma^2_A$  = varianza de la aptitud combinatoria aditiva

$\sigma^2_{ACG}$  = varianza de la aptitud combinatoria general

b) Varianza de dominancia, se considera como el equivalente de la varianza de aptitud combinatoria específica.

$$\sigma^2_{ACE} = \sigma^2_D$$

En donde:

$\sigma^2_{ACE}$  = varianza de la aptitud combinatoria específica

$\sigma^2_D$  = varianza de dominancia

c) Grado de dominancia

$$d = \sqrt{\frac{2\sigma^2_D}{\sigma^2_A}}$$

En donde:

$\sigma^2_D$  = Varianza de dominancia

$\sigma^2_A$  = Varianza aditiva

d) Varianza fenotípica

$$\sigma^2_P = \frac{\sigma^2_e}{rl} + \sigma^2_G + \frac{\sigma^2_A}{l} + \frac{\sigma^2_{GA}}{l}$$

En donde:

$\sigma_e^2$  = varianza del error

$\sigma_G^2$  = varianza genotípica

$\sigma_A^2$  = varianza ambiental

$\sigma_{GA}^2$  = varianza debido a la interacción genotipo ambiente

r = repeticiones

l = localidad

e) Heredabilidad en el sentido amplio

$$H^2 = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_P^2} \times 100$$

f) Heredabilidad en el sentido estricto

$$h^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_P^2} \times 100$$

## RESULTADOS

### Análisis de varianza generales

De acuerdo con los objetivos del presente trabajo se analizaron las siguientes variables en las dos localidades: rendimiento (REND), índice de área foliar (IAF), días a floración (DF), índice de cosecha (IC) y altura de planta (ALTPLA), en donde los análisis de varianza del cuadro 4.1, muestra que para la fuente de variación tratamientos hay alta significancia para todas las variables en las dos localidades, lo cual indica que hay diferencias entre tratamientos; en cambio para la fuente de variación bloques no existe significancia, excepto para la variable IC en la localidad UAAAN-UL lo que se puede deber a errores de muestreo ya que al momento de tomar el peso de la materia seca, está tenía variaciones en cuanto al contenido de humedad, debido a que no estaba completamente seca la planta.

Los coeficientes de variación, para las variables en estudio están dentro de los rangos aceptables para experimentos agrícolas, obteniendo coeficientes de variación de 1.78 para D.F y 17.26 para IAF en la localidad UAAAN-UL y de 1.74 para D.F y 13.23 para REND en la localidad San Pedro.

**Cuadro 4.1.** Cuadrados medios de los análisis de varianzas individuales, para cinco características evaluadas en dos localidades. UAAAN-UL 1999.

		CARACTERISTICAS					
F V	G L	REND	IAF	D F	ALTPLA	IC	
1*	TRAT	20	13926106 **	0.83 **	59.39 **	0.40 **	121.44 **
	BLOQ	1	9685760 NS	0.36 NS	4.67 NS	0.08 NS	124.23 *
	ERROR	20	1282496	0.15	1.77	0.01	14.48
	C.V		15.31	17.26	1.78	5.25	14.66
2*	TRAT	20	8424012 **	0.98 **	46.62 **	0.31 **	149.01 **
	BLOQ	1	1582592 NS	0.01 NS	4.03 NS	0.01 NS	10.76 NS
	ERROR	20	787193.62	0.08	1.72	0.01	14.84
	C.V		13.23	12.46	1.74	6.44	13.49

1.- Localidad UAAAN-UL      \*\* Alta significancia      NS No significancia

2.- Localidad san Pedro      \* Significancia

Debido a la significancia para tratamientos, se procedió a realizar el análisis combinado, a partir del cual se presentan los cuadrados medios de las características evaluadas en el Cuadro 4.2., encontrando alta significancia para localidad en el IC, significancia para REND y para ALTPLA, esto indica que en estas variables sí influyo el ambiente (LOC) en cambio para IAF y días a floración no se detectaron efectos ambientales.

El análisis de varianza detecto diferencias altamente significativas entre los genotipos (tratamientos) para todas las variables, confirmando que existe variación entre ellos, en cambio no se manifiesta la interacción genotipo ambiente (LocXTrt) para ninguna de las variables evaluadas, lo cual indica que los genotipos respondieron similar a los cambios ambientales.

**Cuadro 4.2.** Cuadrados medios de los análisis de varianzas combinados, para cinco características. UAAAN-UL 1999.

F V	G L	CARACTERISTICAS							
		REND		IAF		D F		ALTPLA	
LOC	1	9960448	*	0.001 NS	7.47 NS	0.14 *	140.82 **		
R(LOC)	2	5634304		0.121	3.72	0.04	67.49		
TRAT	20	211109914	**	1.721 **	101.73 **	0.693 **	262.69 **		
LOCXTRAT	20	1240217.36	NS	0.129 NS	3.81 NS	0.016 NS	7.76 NS		
ERROR	40	1034854.38		0.108	1.73	0.035	14.66		
CV		14.43		14.58	1.76	5.90	14.05		

\*\* Alta significancia

\*Significancia

NS No existe significancia

En el Cuadro 4.3. se muestra la comparación de medias para las cinco variables evaluadas. En dicho cuadro pueden verse las medias de las variable evaluadas. El mejor tratamiento para rendimiento fue la cruce  $P_4 \times P_6$  con una media de 10352.41 kg, seguida de las cruces  $P_3 \times P_5$ ,  $P_3 \times P_4$  y  $P_5 \times P_6$  con medias respectivas de 9460.98 kg, 9297.70 kg y 9260.74 kg, en cambio los tratamientos con menor rendimiento resultaron ser los progenitores como el  $P_3$  y el  $P_2$  con medias de 1935.91 kg y 2797.19 Kg

Para IAF todos los híbridos resultaron ser estadísticamente iguales, los cuales variaron de 2.91 hasta 2.32. Correspondiendo los menores valores de índice de área foliar a los progenitores con valores de 1.55 para  $P_1$  hasta 0.98 para  $P_6$

En lo correspondiente a DF los tratamientos más tardíos fueron los progenitores, con 84 a 81 días correspondiendo a los progenitores  $P_1$  y  $P_4$ , en cambio las cruces resultaron ser más precoces con un rango de 74.25 para la cruce  $P_3 \times P_5$  y la más precoz con una media de 69.75 días para la cruce  $P_2 \times P_6$ .

En tanto que para altura de planta las cruzas más altas fueron  $P_4 \times P_6$  con una media de 2.46 m.,  $P_4 \times P_5$  con 2.45 m., y  $P_1 \times P_6$  con 2.36 m.; mientras que la craza más baja fue la  $P_1 \times P_4$  con 1.78 m. Para los progenitores el más alto fue el  $P_3$  con 1.88 m. y el más bajo el  $P_4$  con 0.94 m. En lo correspondiente a IC los valores más alto fueron para las cruzas  $P_1 \times P_5$  con 41.15,  $P_3 \times P_4$  con 37.61,  $P_5 \times P_6$  con 35.26 y  $P_4 \times P_5$  con 34.16. Siendo la craza con más bajo IC la  $P_2 \times P_4$  con 25.84. Para los progenitores el valor más alto correspondió al  $P_6$  con 20.99 y el más bajo al  $P_3$  con 9.44.

**Cuadro 4.3.** Prueba de significancia de DMS al 5% para las medias del combinado de las cinco características evaluadas. UAAAN-UL 1999.

C A R A C T E R I S T I C A S									
REND		I A F		D F		ALTUPLA		I C	
CRUZA	MEDIA	CRUZA	MEDIA	CRUZA	MEDIA	CRUZA	MEDIA	CRUZA	MEDIA
P <sub>4</sub> xP <sub>6</sub>	10352.41a	P <sub>1</sub> xP <sub>6</sub>	2.91 a	P <sub>1</sub>	84.00 a	P <sub>4</sub> xP <sub>6</sub>	2.46 a	P <sub>1</sub> xP <sub>5</sub>	41.15 a
P <sub>3</sub> xP <sub>5</sub>	9460.98 ab	P <sub>2</sub> xP <sub>5</sub>	2.85 a	P <sub>3</sub>	83.50 ab	P <sub>4</sub> xP <sub>5</sub>	2.45 a	P <sub>3</sub> xP <sub>4</sub>	37.61 ab
P <sub>3</sub> xP <sub>4</sub>	9297.70 ab	P <sub>4</sub> xP <sub>6</sub>	2.78 a	P <sub>5</sub>	82.50 ab	P <sub>1</sub> xP <sub>6</sub>	2.36 ab	P <sub>5</sub> xP <sub>6</sub>	35.26 abc
P <sub>5</sub> xP <sub>6</sub>	9260.74 ab	P <sub>2</sub> xP <sub>3</sub>	2.77 a	P <sub>2</sub>	82.50 ab	P <sub>5</sub> xP <sub>6</sub>	2.36 ab	P <sub>4</sub> xP <sub>6</sub>	34.16 abcd
P <sub>2</sub> xP <sub>4</sub>	8761.40 abc	P <sub>4</sub> xP <sub>5</sub>	2.75 a	P <sub>6</sub>	81.00 b	P <sub>3</sub> xP <sub>4</sub>	2.32 abc	P <sub>2</sub> xP <sub>6</sub>	32.10 bcde
P <sub>1</sub> xP <sub>2</sub>	8675.91 abc	P <sub>3</sub> xP <sub>4</sub>	2.69 a	P <sub>4</sub>	81.00 b	P <sub>1</sub> xP <sub>2</sub>	2.32 abc	P <sub>1</sub> xP <sub>3</sub>	31.81 bcde
P <sub>2</sub> xP <sub>5</sub>	8514.41 abcd	P <sub>2</sub> xP <sub>4</sub>	2.67 a	P <sub>3</sub> xP <sub>5</sub>	74.25 c	P <sub>2</sub> xP <sub>6</sub>	2.19 bc	P <sub>3</sub> xP <sub>5</sub>	30.98 bcde
P <sub>1</sub> xP <sub>5</sub>	8424.96 abcd	P <sub>1</sub> xP <sub>3</sub>	2.66 a	P <sub>3</sub> xP <sub>6</sub>	73.50 cd	P <sub>3</sub> xP <sub>6</sub>	2.19 bc	P <sub>1</sub> xP <sub>2</sub>	30.78 bcde
P <sub>2</sub> xP <sub>6</sub>	8029.06 bcd	P <sub>1</sub> xP <sub>5</sub>	2.64 a	P <sub>4</sub> xP <sub>5</sub>	73.50 cd	P <sub>2</sub> xP <sub>5</sub>	2.19 bc	P <sub>4</sub> xP <sub>5</sub>	30.58 bcde
P <sub>4</sub> xP <sub>5</sub>	7959.06 bcd	P <sub>3</sub> xP <sub>5</sub>	2.60 a	P <sub>2</sub> xP <sub>5</sub>	72.75 cde	P <sub>1</sub> xP <sub>3</sub>	2.11 cd	P <sub>1</sub> xP <sub>4</sub>	30.49 bcde
P <sub>1</sub> xP <sub>6</sub>	7572.15 bcd	P <sub>1</sub> xP <sub>2</sub>	2.60 a	P <sub>2</sub> xP <sub>3</sub>	72.75 cde	P <sub>2</sub> xP <sub>4</sub>	2.11 cd	P <sub>2</sub> xP <sub>5</sub>	30.38 bcde
P <sub>3</sub> xP <sub>6</sub>	7462.59 bcde	P <sub>5</sub> xP <sub>6</sub>	2.53 a	P <sub>1</sub> xP <sub>4</sub>	72.50 cdef	P <sub>2</sub> xP <sub>3</sub>	2.09 cd	P <sub>3</sub> xP <sub>6</sub>	27.62 cdef
P <sub>1</sub> xP <sub>3</sub>	6996.13 cdef	P <sub>3</sub> xP <sub>6</sub>	2.50 a	P <sub>4</sub> xP <sub>6</sub>	72.50 cdef	P <sub>3</sub> xP <sub>5</sub>	1.94 de	P <sub>2</sub> xP <sub>3</sub>	27.07 def
P <sub>1</sub> xP <sub>4</sub>	6957.68 cdef	P <sub>1</sub> xP <sub>4</sub>	2.48 a	P <sub>1</sub> xP <sub>6</sub>	72.25 cdefg	P <sub>1</sub> xP <sub>5</sub>	1.88 de	P <sub>1</sub> xP <sub>6</sub>	27.01 def
P <sub>2</sub> xP <sub>3</sub>	6501.65 def	P <sub>2</sub> xP <sub>6</sub>	2.32 a	P <sub>1</sub> xP <sub>5</sub>	71.75 cdefg	P <sub>3</sub>	1.88 de	P <sub>2</sub> xP <sub>4</sub>	25.86 efg
P <sub>1</sub>	5448.40 efg	P <sub>1</sub>	1.55 b	P <sub>2</sub> xP <sub>4</sub>	71.25 defg	P <sub>1</sub> xP <sub>4</sub>	1.78 ef	P <sub>6</sub>	20.99 fg
P <sub>4</sub>	5036.76 fg	P <sub>4</sub>	1.39 b	P <sub>3</sub> xP <sub>4</sub>	71.00 defg	P <sub>6</sub>	1.63 f	P <sub>1</sub>	19.94 fg
P <sub>5</sub>	5034.56 fg	P <sub>2</sub>	1.27 b	P <sub>5</sub> xP <sub>6</sub>	71.00 defg	P <sub>5</sub>	1.57 fg	P <sub>5</sub>	18.95 gh
P <sub>6</sub>	3611.54 gh	P <sub>3</sub>	1.26 b	P <sub>1</sub> xP <sub>3</sub>	70.50 efg	P <sub>2</sub>	1.36 gh	P <sub>4</sub>	18.53 gh
P <sub>2</sub>	2797.19 h	P <sub>5</sub>	1.21 b	P <sub>1</sub> xP <sub>2</sub>	70.00 fg	P <sub>1</sub>	1.27 h	P <sub>2</sub>	11.70 hi
P <sub>3</sub>	1935.91 h	P <sub>6</sub>	0.98 b	P <sub>2</sub> xP <sub>6</sub>	69.75 g	P <sub>4</sub>	0.94 i	P <sub>3</sub>	9.44 i

\*Medias con la misma letra son estadísticamente igual al 5% de probabilidad

## Análisis dialélico

Al realizar el análisis de varianza dialélico para las cinco características evaluadas (Cuadro 4.4) se obtuvieron los siguientes resultados. La fuente de variación localidad tuvo alta significancia para REND, e IC; significancia para IAF, esto indica que el ambiente afecto la expresión de dichas características, en tanto para DF y ALTPLA no se encontró significancia lo cual nos dice que para estas características no influyo el efecto del ambiente.

En lo referente a la fuente de variación de cruzas, existió alta significancia para todas las características, esto nos indica que algunas de las cruzas son diferentes entre sí para todas las características evaluadas, la diferencia entre cruzas se esperaba debido al origen contrastante de los progenitores que intervinieron en el dialélico.

**Cuadro 4.4.** Cuadrados medios del análisis de varianza para el Dialélico de Griffing (1956) del modelo II de efectos fijos. UAAAN-UL 1999.

F V	GL	CARACTERISTICAS					
		REND	IAF	DF	ALTPLA	IC	
LOC	1	4980310.24 **	0.069 *	7.01 NS	0.003 NS	70.41 **	
CRUZAS	20	10554922.08 **	0.347 **	3.55 **	0.845 **	131.34 **	
ACG	5	1572846.69 NS	0.387 **	5.68 NS	0.039 NS	12.28 NS	
ACE	15	13548947.20 **	0.333 **	2.37 **	1.114 **	171.0 **	
ERROR	20	620115.44	0.008	2.28	0.057	3.88	
CV		11.17	4.5	1.77	4.50	7.2	

\*\* Alta significancia                      NS No existe significancia                      \* Significancia

En el Cuadro 4.5 se presentan los valores de ACE para las cruzas y los de ACG para los progenitores para cada una de las cinco características evaluadas. Para rendimiento los progenitores P<sub>1</sub>, P<sub>4</sub> y P<sub>5</sub> muestran efectos

positivos y los tres restantes efectos negativos. El progenitor con mayor efecto fue el  $P_5$  con un valor de ACG de 373.37, seguido del  $P_4$  con 299.10 y por último el  $P_1$  con 103.28. Los efectos menores y negativos son en orden los siguientes  $P_3$ ,  $P_6$  y  $P_2$  con valores de -440.22, -191.13 y -145.30. En tanto para ACE 12 de las 15 cruzas tuvieron valores positivos y las restantes tres con valores negativos. La craza de mayor ACE fue  $P_2 \times P_5$  con un valor de 3072.37 y la de menor valor la  $P_4 \times P_5$  con -729.20. Se puede apreciar que en la craza de mayor ACE intervino el progenitor de mayor ACG; y que en las mejores cuatro cruzas intervino por lo menos un progenitor de buena ACG, dándose el caso como el de la craza  $P_2 \times P_3$  en donde intervienen dos líneas de baja ACG para formar un híbrido de alta ACE.

En índice de área foliar cuatro progenitores tuvieron efectos positivos de ACG y dos tiene efectos negativos, los progenitores de mayor ACG son  $P_5$  y  $P_6$  con valores de 0.069 y 0.028, en tanto que el de menor ACG es el  $P_3$  con un valor de -0.068, mientras que para las cruzas todas resultaron con efectos positivos de ACE con valores desde 0.696 para la craza  $P_1 \times P_2$  hasta 0.187 para la  $P_1 \times P_3$ . en esta variable se puede observar que en las cruzas de mayor ACE intervino por lo menos un progenitor de buena ACG.

En días a floración tres progenitores tiene efectos negativos y los restantes tres tiene efectos positivos de ACG, el progenitor con mayor ACG es el  $P_5$  con un valor de 0.68 y el de menor ACG es  $P_1$  con -0.63. En esta

característica todas las cruzas tienen valores negativos, debido a que son más precoces que sus progenitores los valores van desde -4.70 para la craza  $P_4 \times P_5$  hasta -1.61 para la craza  $P_2 \times P_4$ .

Para altura de planta existen tres progenitores con efectos de ACG positivos y tres con efectos negativos, el progenitor de mayor ACG es el  $P_2$  con un valor de 0.22 y el menor valor corresponde al progenitor  $P_6$  con un valor de -0.21. En ACE 14 cruzas resultaron con efectos positivos y una con efectos negativos, la craza de mayor ACE fue la  $P_2 \times P_5$  con un valor de 0.336 y la de menor valor fue la craza  $P_3 \times P_5$  con -0.030, en este caso se presentó que en la craza de mayor ACE intervino el progenitor de mayor ACG.

En índice de cosecha se tuvieron cuatro progenitores con efectos positivos de ACG y dos con efectos negativos, el progenitor de mayor ACG es el  $P_5$  con un valor de 0.61 y el menor valor corresponde al progenitor  $P_2$  con -1.60. Para ACE tenemos 13 cruzas con efectos positivos y dos con efectos negativos, para esta característica la craza con mayor valor de ACE es la  $P_3 \times P_4$  con 9.41 y la de menor valor la craza  $P_4 \times P_6$  con -2.24, en este caso en la craza de mayor ACE no intervino el progenitor de mejor ACG, pero sí dos progenitores con efectos positivos de ACG.

**Cuadro 4.5.** Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) para cinco características aplicando el modelo II de Griffing (1956) UAAAN-UL 1999.

LINEA	REND		IAF		D F		ALTPLA		I C	
	MEDIA	ACG	MEDIA	ACG	MEDIA	ACG	MEDIA	ACG	MEDIA	ACG
P <sub>1</sub>	5448.40	103.28	0.976	-0.043	81.00	-0.63	1.63	0.08	19.94	-0.45
P <sub>2</sub>	2797.19	-145.30	1.257	0.007	83.50	0.58	1.88	0.22	11.70	-1.60
P <sub>3</sub>	1935.91	-440.22	1.270	-0.068	82.50	-0.45	1.36	-0.07	9.44	0.59
P <sub>4</sub>	5036.76	299.10	1.215	0.007	82.50	-0.42	1.57	0.08	18.53	0.36
P <sub>5</sub>	5034.56	373.37	1.549	0.069	84.00	0.68	1.27	-0.10	18.95	0.61
P <sub>6</sub>	3611.54	-191.13	1.392	0.028	81.50	0.24	0.94	-0.21	20.99	0.48

CRUZA	MEDIA	ACE	MEDIA	ACE	MEDIA	ACE	MEDIA	ACE	MEDIA	ACE
P <sub>1</sub> xP <sub>2</sub>	7572.15	562.20	2.910	0.696	72.25	-2.64	2.365	0.094	27.05	1.79
P <sub>1</sub> xP <sub>3</sub>	8029.06	1314.04	2.325	0.187	69.75	-4.11	2.192	0.210	32.10	4.70
P <sub>1</sub> xP <sub>4</sub>	8675.91	1220.67	2.60	0.386	70.00	-3.89	2.320	0.190	30.78	3.61
P <sub>1</sub> xP <sub>5</sub>	8514.41	985.79	2.847	0.572	72.75	-2.23	2.187	0.235	30.38	2.96
P <sub>1</sub> xP <sub>6</sub>	6501.65	-462.46	2.767	0.533	72.75	-1.79	2.092	0.256	27.07	-0.22
P <sub>2</sub> xP <sub>3</sub>	9260.74	2794.30	2.527	0.338	71.00	-4.07	2.360	0.234	35.26	9.02
P <sub>2</sub> xP <sub>4</sub>	7959.06	752.40	2.747	0.482	73.50	-1.61	2.447	0.174	30.58	4.55
P <sub>2</sub> xP <sub>5</sub>	10352.41	3072.37	2.610	0.283	72.00	-4.20	2.462	0.366	34.15	7.88
P <sub>2</sub> xP <sub>6</sub>	7462.59	747.06	2.502	0.217	73.50	-2.26	2.190	0.209	27.63	1.48
P <sub>3</sub> xP <sub>4</sub>	9297.70	2385.96	2.692	0.503	71.00	-3.07	2.322	0.337	37.61	9.41
P <sub>3</sub> xP <sub>5</sub>	6957.68	-27.43	2.477	0.227	72.50	-2.67	1.777	-0.030	30.49	2.03
P <sub>3</sub> xP <sub>6</sub>	8424.96	2004.35	2.642	0.432	71.75	-2.98	1.885	0.193	4.15	12.82
P <sub>4</sub> xP <sub>5</sub>	6996.13	-729.20	2.665	0.339	70.50	-4.70	2.112	0.157	31.81	3.58
P <sub>4</sub> xP <sub>6</sub>	8761.40	1600.57	2.675	0.389	71.25	-3.51	2.110	0.271	25.86	-2.24
P <sub>5</sub> xP <sub>6</sub>	9460.98	2226.78	2.602	0.256	74.25	-1.61	1.945	0.283	30.98	2.63

Heterosis

En el Cuadro 4.6 se presentan los efectos de heterosis para rendimiento presentando el mayor efecto de heterosis promedio las cruzas  $P_2 \times P_3$ ,  $P_3 \times P_6$ , y  $P_3 \times P_4$  con valores de 274.42, 202.66 y 166.69 por ciento, correspondiendo la menor heterosis a las cruzas  $P_1 \times P_5$ ,  $P_1 \times P_6$  y  $P_4 \times P_5$  con valores de 62.44, 43.53 y 38.93 por ciento. Con respecto a la heterosis en base al mejor progenitor los mayores valores de heterosis corresponden a las cruzas  $P_2 \times P_3$ ,  $P_3 \times P_6$  y  $P_2 \times P_6$  con valores de 231.07, 133.28 y 106.63 por ciento, mientras que las cruzas de menor heterosis fueron  $P_1 \times P_2$ ,  $P_3 \times P_5$  y  $P_1 \times P_6$  con valores de 38.88, 38.20 y 19.33 por ciento. En el mismo cuadro se puede observar que la misma craza obtuvo los mayores efectos en los dos tipos de heterosis, en tanto, que para la menor heterosis variaron con respecto al tipo de heterosis.

**Cuadro 4.6.** Heterosis en base al promedio de los progenitores (h) y al mejor progenitor (h') para el rendimiento (kg/ha) en las 15 cruzas directas posibles de los seis progenitores. UAAAN-UL 1999.

Cruza	FI	Pi	Pj	$\frac{(P_i + P_j)}{2}$	h	h'
$P_1 \times P_2$	7572.15	5448.40	2797.19	4122.79	83.67	38.98
$P_1 \times P_3$	8029.06	5448.40	1935.91	3692.15	117.46	47.37
$P_1 \times P_4$	8675.91	5448.40	5036.76	5242.58	65.49	59.24
$P_1 \times P_5$	8514.41	5448.40	5034.56	5241.48	62.44	56.28
$P_1 \times P_6$	6501.65	5448.40	3611.54	4529.97	43.53	19.33
$P_2 \times P_3$	9260.74	2797.19	1935.91	2366.55	274.42	231.07
$P_2 \times P_4$	7959.06	2797.19	5036.76	3916.97	103.19	58.02
$P_2 \times P_5$	10352.59	2797.19	5034.56	3915.87	164.37	105.63
$P_2 \times P_6$	7462.59	2797.19	3611.54	3204.36	132.89	106.63
$P_3 \times P_4$	9297.68	1935.91	5036.76	3486.33	166.69	84.60
$P_3 \times P_5$	6957.68	1935.91	5034.56	3485.23	99.63	38.20
$P_3 \times P_6$	8424.96	1935.91	3611.54	2773.72	202.66	133.28
$P_4 \times P_5$	6996.13	5036.76	5034.56	5035.66	38.93	38.90
$P_4 \times P_6$	8761.40	5036.76	3611.54	4323.05	102.64	73.95
$P_5 \times P_6$	9460.98	5034.56	3611.54	4323.05	118.85	87.92

En índice de área foliar, que se presenta en el Cuadro 4.7, se tuvieron los siguientes efectos heteróticos, con respecto al promedio de los progenitores las cruzas de mayor heterosis fueron  $P_1 \times P_2$ ,  $P_1 \times P_4$  y  $P_2 \times P_6$  con valores de 159.82, 136.99 y 134.34. mientras que las de menor valor heterotico fueron  $P_2 \times P_5$ ,  $P_5 \times P_6$  y  $P_3 \times P_5$  con un valores de 86.12, 76.87 y 75.89 por ciento; con respecto a la heterosis debida al mejor progenitor se tiene que las cruzas de mayor heterosis fueron  $P_1 \times P_2$ ,  $P_2 \times P_4$  y  $P_1 \times P_4$  con valores de 130.95 118.25 y 114.05 por ciento, en tanto las cruzas de menor efecto heterotico fueron  $P_2 \times P_5$ ,  $P_5 \times P_6$  y  $P_3 \times P_5$  con un valores de 68.39, 67.74 y 60.00 por ciento. En este caso también se presenta que la crusa de mayor heterosis corresponde a la misma en los dos tipos de heterosis calculadas.

**Cuadro 4.7.** Heterosis en base al promedio de los progenitores (h) y al mejor progenitor (h') para el IAF en las 15 cruzas directas posibles de los seis progenitores. UAAAN-UL 1999.

CRUZA	F1	Pi	Pj	$\frac{(p_i + p_j)}{2}$	h	h'
$P_1 \times P_2$	2.91	0.98	1.26	1.120	159.82	130.95
$P_1 \times P_3$	2.32	0.98	1.27	1.125	106.67	82.68
$P_1 \times P_4$	2.60	0.98	1.21	1.095	136.99	114.05
$P_1 \times P_5$	2.85	0.98	1.55	1.265	124.90	83.87
$P_1 \times P_6$	2.77	0.98	1.39	1.185	133.33	98.56
$P_2 \times P_3$	2.53	1.26	1.27	1.265	99.60	99.21
$P_2 \times P_4$	2.75	1.26	1.21	1.235	122.27	118.25
$P_2 \times P_5$	2.61	1.26	1.55	1.405	86.12	68.39
$P_2 \times P_6$	2.50	1.26	1.39	1.325	134.34	79.86
$P_3 \times P_4$	2.69	1.27	1.21	1.240	116.94	111.81
$P_3 \times P_5$	2.48	1.27	1.55	1.410	75.89	60.00
$P_3 \times P_6$	2.64	1.27	1.39	1.330	98.50	89.93
$P_4 \times P_5$	2.66	1.21	1.55	1.380	92.75	72.26
$P_4 \times P_6$	2.67	1.21	1.39	1.300	105.38	92.09
$P_5 \times P_6$	2.60	1.55	1.39	1.470	76.87	67.74

En días a floración se obtuvieron resultados negativos, debido a que las líneas son más tardías que las cruzas, en base a la media de progenitores las cruzas que tuvieron mayor heterosis fueron  $P_1 \times P_3$ ,  $P_2 \times P_3$  y  $P_4 \times P_5$  con valores de -14.68, -14.46 y -15.32 siendo la crusa de menor heterosis  $P_5 \times P_6$  con -10.27. En la heterosis en base al mejor progenitor las cruzas de mayor heterosis fueron  $P_1 \times P_3$ ,  $P_1 \times P_4$  y  $P_4 \times P_5$  con valores de -15.45, -15.15 y -16.07 por ciento, siendo la crusa de menor heterosis  $P_1 \times P_6$  con -10.74. coincidiendo que las cruzas de mayor heterosis, fueron las mismas para los dos tipos; en lo referente al intervalos de días en heterosis fueron de 8.50 hasta 12.75 días más precoces las cruzas que sus progenitores.

**Cuadro 4.8.** Heterosis en base al promedio de los progenitores (h) y al mejor progenitor (h') para días a floración en las 15 cruzas directas posibles de los seis progenitores. UAAAN-UL 1999.

CRUZA	F1	Pi	Pj	$\frac{(P_i + P_j)}{2}$	h	h'
$P_1 \times P_2$	72.25	81.00	83.50	82.25	-12.16	-13.47
$P_1 \times P_3$	69.75	81.00	82.50	81.75	-14.68	-15.45
$P_1 \times P_4$	70.00	81.00	82.50	81.75	-14.37	-15.15
$P_1 \times P_5$	72.75	81.00	84.00	82.50	-11.82	-13.39
$P_1 \times P_6$	72.75	81.00	81.50	81.25	-10.46	-10.74
$P_2 \times P_3$	71.00	83.50	82.50	83.00	-14.46	-14.97
$P_2 \times P_4$	73.50	83.50	82.50	83.00	-10.84	-11.98
$P_2 \times P_5$	72.00	83.50	84.00	83.75	-13.73	-14.29
$P_2 \times P_6$	73.50	83.50	81.50	82.50	-10.91	-11.98
$P_3 \times P_4$	71.00	82.50	82.50	82.50	-13.94	-13.94
$P_3 \times P_5$	72.50	82.50	84.00	83.25	-12.91	-13.69
$P_3 \times P_6$	71.50	82.50	81.50	82.00	-12.50	-13.03
$P_4 \times P_5$	70.50	82.50	84.00	83.25	-15.32	-16.07
$P_4 \times P_6$	71.25	82.50	81.50	82.00	-13.11	-13.64
$P_5 \times P_6$	74.25	84.00	81.50	82.75	-10.27	-11.61

Para altura de planta en la heterosis promedio las cruzas de mayor heterosis fueron  $P_5 \times P_6$ ,  $P_4 \times P_6$  y  $P_3 \times P_6$  con valores de 76.36, 68.80 y 63.48 por ciento, en tanto las de menor valor fueron  $P_1 \times P_2$ ,  $P_3 \times P_5$  y  $P_2 \times P_3$  con valores de 34.66, 35.11 y 41.62 por ciento. En la heterosis en base al mejor progenitor las cruzas con mayor valor heterotico fueron  $P_5 \times P_6$ ,  $P_3 \times P_4$  y  $P_1 \times P_4$  con valores de 52.76, 47.77 y 41.72 por ciento, mientras que las de menor valor fueron  $P_2 \times P_6$ ,  $P_2 \times P_3$  y  $P_1 \times P_2$  con valores de 16.49, 25.53 y 26.06. En los dos tipos de heterosis la craza de mayor valor fue la misma, en cambio en la craza de menor valor vario de acuerdo al tipo de heterosis

**Cuadro 4.9.** Heterosis en base al promedio de los progenitores (h) y al mejor progenitor (h') para altura de planta en las 15 cruzas directas posibles de los seis progenitores. UAAAN-UL 1999.

CRUZA	F1	Pi	Pj	$\frac{(P_i + P_j)}{2}$	h	h'
$P_1 \times P_2$	2.36	1.63	1.88	1.76	34.66	26.06
$P_1 \times P_3$	2.19	1.63	1.36	1.49	46.31	34.36
$P_1 \times P_4$	2.32	1.63	1.57	1.60	45.00	41.72
$P_1 \times P_5$	2.19	1.63	1.27	1.45	50.34	33.74
$P_1 \times P_6$	2.09	1.63	0.94	1.28	62.50	28.22
$P_2 \times P_3$	2.36	1.88	1.36	1.62	45.68	25.53
$P_2 \times P_4$	2.45	1.88	1.57	1.73	41.62	30.32
$P_2 \times P_5$	2.46	1.88	1.27	1.58	56.33	30.85
$P_2 \times P_6$	2.19	1.88	0.94	1.41	55.32	16.49
$P_3 \times P_4$	2.32	1.36	1.57	1.46	58.90	47.77
$P_3 \times P_5$	1.78	1.36	1.27	1.31	35.11	30.15
$P_3 \times P_6$	1.88	1.36	0.94	1.15	63.48	38.24
$P_4 \times P_5$	2.11	1.57	1.27	1.42	48.59	34.39
$P_4 \times P_6$	2.11	1.57	0.94	1.25	68.80	34.39
$P_5 \times P_6$	1.94	1.27	0.94	1.10	76.36	52.76

En índice de cosecha la heterosis en base al promedio de progenitores tuvo valores de 233.59 para la crusa  $P_2 \times P_3$  hasta 30.87 para la crusa  $P_4 \times P_6$ ; las cruas con mayor valor heterotico fueron  $P_2 \times P_3$ ,  $P_3 \times P_4$  y  $P_3 \times P_6$  con valores de 233.59, 190.49 y 170.48, y las cruas de menor heterosis fueron  $P_4 \times P_6$  y  $P_1 \times P_6$  con valores de 30.87 y 32.26. En tanto para la heterosis en base al mejor progenitor las cruas de mayor valor fueron  $P_2 \times P_3$ ,  $P_3 \times P_4$  y  $P_3 \times P_6$  con valores de 201.37, 102.97 y 96.05, correspondiendo los menores valores a las cruas  $P_4 \times P_6$  y  $P_1 \times P_6$  con valores de 23.20 y 28.97 por ciento. Las cruas de mayor heterosis y de menor valores heterotico correspondió a las mismas cruas en los dos tipos de heterosis.

**Cuadro 4.10.** Heterosis en base al promedio de los progenitores (h) y al mejor progenitor (h') para el índice de cosecha en las 15 cruas directas posibles de los seis progenitores. UAAAN-UL 1999.

CRUZA	F1	Pi	Pj	$\frac{(P_i + P_j)}{2}$	h	h'
$P_1 \times P_2$	27.05	19.94	11.70	15.82	70.67	35.41
$P_1 \times P_3$	32.10	19.94	9.44	14.69	118.52	60.98
$P_1 \times P_4$	30.78	19.94	18.53	19.23	60.06	54.36
$P_1 \times P_5$	30.38	19.94	18.95	19.44	56.28	52.36
$P_1 \times P_6$	27.07	19.94	20.99	20.46	32.26	28.97
$P_2 \times P_3$	35.26	11.70	9.44	10.57	233.59	201.37
$P_2 \times P_4$	30.58	11.70	18.53	15.11	102.32	65.03
$P_2 \times P_5$	34.15	11.70	18.95	15.32	122.91	80.21
$P_2 \times P_6$	27.63	11.70	20.99	16.34	69.03	31.63
$P_3 \times P_4$	37.61	9.44	18.53	13.98	190.49	102.97
$P_3 \times P_5$	30.49	9.44	18.95	14.19	114.87	60.90
$P_3 \times P_6$	41.15	9.44	20.99	15.21	170.48	96.05
$P_4 \times P_5$	31.81	18.53	18.95	18.74	69.74	67.86
$P_4 \times P_6$	25.86	18.53	20.99	19.76	30.87	23.20
$P_5 \times P_6$	30.98	18.95	20.99	19.97	55.13	47.59

## Heredabilidad

En el Cuadro 4.12 se aprecian los valores de varianzas, heredabilidad y dominancia de las líneas evaluadas. La varianza de dominancia predominó en todas las características, presentándose varianza aditiva solamente para índice de cosecha, con valor muy pequeño, lo anterior se ve reflejado en la heredabilidad, ya que la del sentido amplio predomina con valores de 86.02 para floración hasta 97.07 para índice de área foliar. La heredabilidad en el sentido estrecho se presentó solamente en índice de cosecha con un valor de 1.7 por lo que se puede decir que la heredabilidad que predominó fue la del sentido amplio. En lo referente a la dominancia, todas las características presentaron valores de sobredominancia los cuales van desde 4.11 para índice de área foliar y para altura de planta hasta 9.93 para índice de cosecha.

**Cuadro 4.11.** Cuadro de varianzas, heredabilidad en el sentido amplio ( $H^2$ ) y en el sentido estrecho ( $h^2$ ) y dominancia ( $d$ ), para seis líneas evaluadas en dos localidades. UAAAN-UL 1999.

CARACT	$\sigma^2_P$	$\sigma^2_G$	$\sigma^2_A$	$\sigma^2_D$	$H^2$	$h^2$	$d^2$
REND	6823556.72	6464445.41	-748506.28	6464445.41	94.73	-	4.16
I A F	33.32	32.34	-3.82	32.34	97.07	-	4.11
D F	5764.51	49558.44	-164.96	4958.44	86.02	-	7.75
ALTPLA	117.39	83.58	-9.92	83.58	71.20	-	4.11
I C	0.198	0.166	0.003	0.163	82.17	1.7	9.93

## V. DISCUSION

### Análisis de varianza generales.

Los análisis de varianza individuales (Cuadro 4.1) y combinados, (Cuadro 4.2) muestran diferencias significativas entre genotipos (tratamientos) para todas las características evaluadas, lo cual era de esperarse dada la variabilidad de los progenitores (líneas) incluidos en este trabajo. En las diferencias estadísticas detectadas entre localidades para algunas variables mediante el análisis de varianza combinado para cada carácter, indican las variables afectadas por el medio ambiente. Por lo que en un programa de mejoramiento de plantas es necesario repetir el mismo experimento en diferentes ambientes, para estimar la influencia de los ambientes sobre los genotipos, o sea, la magnitud de la interacción genotipo por medio ambiente.

Los coeficientes de variación reportados tanto para los análisis individuales como para los análisis combinados, se observa que son bajos en general. El rendimiento el cual es un carácter de herencia compleja, y por lo tanto más afectado por los factores ambientales muestra mayor variabilidad que los demás caracteres evaluados. Sin embargo los coeficientes de variación no son tan altos para afectar la confiabilidad de los resultados, sobre todo considerando que el material genético que se utilizo para el presente trabajo es

bastante heterogéneo, al respecto Rivera (1977) en un estudio de cruzas intervarietales de maíz encontró que los coeficientes de variación se incrementan a medida que lo hace la diversidad genética de los progenitores, coincidiendo con el rango reportado por Kan *et al.* (1999), el cual es del 14%

Se encontraron diferencias significativas y altamente significativas en las fuentes de variación del análisis combinado coincidiendo con los resultados encontrados por Vergara *et al.* (1996), por lo cual se procedió a realizar una comparación de medias de las seis variables evaluadas para determinar cual de los tratamientos, según la DMS (Cuadro 4.3) resultó ser mejor en cada una de ellas; se detecto que existe una gran diversidad de genotipos evaluados, destacando por su rendimiento las cruzas  $P_4 \times P_6$ ,  $P_3 \times P_5$   $P_3 \times P_4$  hasta los genotipos menos rendidores que son los progenitores. En índice de área foliar se puede observar que todas las cruzas son estadísticamente iguales, pero diferentes a sus progenitores, resultados que coinciden por los reportados por Cox (1996) quien trabajando con cuatro híbridos y tres densidades de población no encontró diferencias significativas para el índice de área foliar y con los resultados reportados por Pinter *et al.* (1994). quienes al trabajar con dos híbridos y cuatro densidades de población, no encontraron significancia para el IAF por efecto del genotipo; sin embargo no coinciden con Graybill *et al.* (1991) quienes trabajando con seis híbridos y tres densidades de población, encontraron diferencias altamente significativas para el IAF por efecto del factor genotipo. En días a floración los genotipos más tardíos fueron las líneas

y los más precoces las cruzas, siendo las de mayor precocidad las cruzas  $P_2 \times P_6$ ,  $P_1 \times P_2$  y  $P_1 \times P_3$  coincidiendo con Córdova y Vasal (1996). Para altura de planta las cruzas de mayor altura fueron  $P_4 \times P_6$  y  $P_4 \times P_5$  y las de menor altura las líneas. En IC se observa que el factor genotipo tuvo un efecto significativo en esta variable con un margen de 9.44 hasta 41.15. correspondiendo los mejores IC a las cruzas  $P_1 \times P_5$ ,  $P_3 \times P_4$  y  $P_5 \times P_6$ , y los menores valores a las líneas, los resultados anteriores coinciden con Graybill *et al.* (1991), quien encontró diferencias altamente significativas para el índice de cosecha por efecto del genotipo. Respecto a los valores de índice de cosecha, Goldsworthy (1974) señala que los valores típicos para los maíces mexicanos son entre 0.30 y 0.37 valores similares de índice de cosecha obtuvo Pons *et al.* en (1991) y Edmeades *et al.* (1999) quienes encontraron índices de 0.36 hasta 0.42 para 16 poblaciones de maíz de clima tropical evaluadas en Tlatizapan, México, existiendo mayor amplitud en el presente trabajo para esta característica. Por lo que se podría decir que los márgenes de los valores de índices de cosecha han variado.

#### Análisis de varianza dialelicos

Con respecto a la aptitud combinatoria (AC), predominó la aptitud combinatoria específica (ACE), coincidiendo con Sierra y Preciado (1988), y con Vasal *et al.* (1995) y Castañón *et al.* (1998), al encontrar significancia para ACE, lo cual sugiere que existen cruzamientos específicos que pueden ser utilizados para formar híbridos de buen rendimiento derivados de las líneas en

estudio. En lo referente a la aptitud combinatoria general (ACG), debido a que para ACG se encontró alta significancia solamente para la característica IAF, en tanto para las restantes variables no hubo significancia, mientras que para ACE se detectaron diferencias altamente significativas para todas las variables evaluadas, debido a que los progenitores desde sus inicios fueron seleccionados por su expresión heterotica al combinarse con otros progenitores.

El comportamiento de la evaluación de las cruzas conjuntamente con sus progenitores, basadas en su alta variabilidad en los datos de las características evaluadas, justifica aplicar los métodos para estimar los efectos genéticos, esta variabilidad entre tratamientos indica que no existe restricción para realizar el análisis dialélico de los datos, como lo señala Hallauer (1988).

Los resultados del análisis de varianza efectuados con el modelo II de Griffing (Cuadro 4.4), el cual se escogió por adaptarse a las condiciones del material en estudio y por ser un diseño compacto. En las cinco características evaluadas, para localidad y cruzas son significativas y altamente significativas a diferencia de días a floración y altura de planta que son no significativas, lo que indica que las cruzas fueron diferentes entre sí y que se comportan de acuerdo a las condiciones del medio ambiente. En AC se encontró que para la ACG solo se tiene significancia para IAF, en tanto que para ACE todas las características tiene alta significancia. Rivera (1977) encontró que a medida

que la diversidad genética de los progenitores se incrementa también la significancia para ACG y ACE.

En el Cuadro 4.5 se observan valores de ACE y ACG para progenitores y cruzas. Para rendimiento, los progenitores con mayor ACG son  $P_5$ ,  $P_4$  y  $P_1$ , y con valores negativos los tres restantes. En lo referente a las cruzas, las de mayor ACE son  $P_2 \times P_5$ ,  $P_2 \times P_3$  y cruza con valores negativos como  $P_4 \times P_5$ . Las cruzas de mayor rendimiento del dialélico resultaron de cruzar dos líneas de cualquier clase, excepto entre dos líneas de baja ACG, como lo señala Pons, *et al* (1991). Este resultado era de esperarse, ya que el alto rendimiento de una craza puede deberse a la suma de efectos aditivos de los genes de las dos líneas progenitoras, o bien, a los efectos de la interacción de los alelos dominantes de un progenitor con los alelos recesivos de otro, pero no cabría esperar interacción alguna entre los alelos recesivos de ambos progenitores. (Falconer, 1985). En índice de área foliar, de los seis progenitores cuatro tiene efectos positivos de ACG y dos efectos negativos, el mayor valor correspondió al progenitor  $P_5$ , para ACE las cruzas con mayor valor fueron  $P_1 \times P_2$ ,  $P_1 \times P_5$  y la  $P_1 \times P_6$ , coincidiendo estos resultados por los encontrados por Gómez *et al.* (1988) quienes reportaron que las cruzas que muestran altos efectos de ACE están formadas por lo menos por un progenitor de alta ACG. Para días a floración, tres progenitores tiene efectos positivos y tres negativos en tanto todas las cruzas tiene efectos negativos, debido a que estas son más precoces que los progenitores, por lo que para este caso como lo marca Rivera (1977)

conviene reconocer que los efectos génicos que regulan dicha característica pueden ser positivos o negativos, de manera que pueden ser interpretados según la necesidad del estudio. En lo referente a la altura de planta se tienen valores positivos de ACG para tres progenitores y valores negativos para los otros tres, para 14 cruzas se tienen valores positivos de ACE y para la craza restante es negativo, al respecto Ramírez (1996) menciona que la reducción de altura de planta disminuya el rendimiento, coincidiendo con Jugenheimer (1990) quien señala que a mayor altura de planta el potencial de rendimiento de grano es mayor. En índice de cosecha dos progenitores tienen efectos negativos y cuatro efectos positivos de ACG, en tanto que 13 cruzas tiene efectos positivos y dos efectos negativos, en esta característica en las cruzas de mayor ACE intervino por lo menos una línea de buena ACG, como lo señala Villanueva *et al.* (1994) y Gómez *et al.* (1988) quienes señalan que en las cruzas de altos efectos de ACG participa al menos una línea de alta ACG.

### Heterosis

De las medias del análisis combinado de las características evaluadas en las 15 cruzas simples de los seis progenitores, se calculo el grado de heterosis con relación al progenitor medio ( $h$ ), y al progenitor superior ( $h'$ ).

Los porcentajes máximos y mínimos de heterosis para el progenitor medio y el progenitor superior variaron en un amplio intervalo, coincidiendo con Molina y Lobato (1998) que señalan que en la mayoría de los casos las

cruzas con mayor rendimiento son también las de mayor heterosis, además de ser estos resultados mayores que los reportados por morales (1996), se puede observar que todas las cruzas superaron a sus progenitores en altos porcentajes. De acuerdo con Vasal y Córdova (1996) quienes mencionan que el consenso general entre los fitomejoradores, sobre el nivel deseable de heterosis es de un 20%, por lo que en este trabajo la mayoría de las variables evaluadas se encuentran por arriba del nivel deseable, exceptuando solamente días a floración en la cual todas las cruzas tiene valores negativos, debido a que su heterosis es en sentido negativo.

Los resultados de este trabajo, indican que existe diversidad genética entre el grupo de progenitores incluidos en este estudio, como lo menciona Oyervides (1979) quien indica que la cantidad de heterosis exhibida en cruzas simples depende de la aptitud rendidora y de la diversidad genética de los progenitores usados. Al respecto Moll *et al.* (1962) señalan que la diversidad genética de los progenitores paternos está asociada con una mayor heterosis.

### Heredabilidad

Para efectos de cálculo de heredabilidad y de dominancia, los valores negativos de varianzas se tomaron como cero, como lo señala Márquez (1988). En el caso de las variables REND, IAF, DF y ALTPLA la varianza aditiva fue negativa debido a lo cual se considera que para estas variables no existió

varianza aditiva ni heredabilidad en el sentido estrecho, por lo que se asume que todas las variaciones están estimadas en base a la varianza de dominancia.

Para rendimiento se obtuvo varianza de dominancia, lo cual era de esperado puesto que existe una marcada expresión heterotica en los híbridos, que da como resultado una heredabilidad en el sentido amplio de 94.73 por ciento por efecto de la varianza de dominancia, por lo que de acuerdo a Chavez (1995) se considera como de una alta proporción. En el caso del grado de dominancia, se tiene un valor de 4.16 valor que de acuerdo con la clasificación de Falconer (1985) es considerado como sobredominancia, lo cual coincide con Molina y Yañez (1994) al evaluar 9 líneas de maíz, lo que se manifestará con seguridad en los híbridos simples que se formen, resultados similares obtuvieron Peña y del Campo (1993) al evaluar 41 híbridos.

En IAF, la heredabilidad en el sentido amplio fue de 97.07 por ciento, lo cual da como resultado la magnitud de la varianza de dominancia que acuerdo con Chávez (1995) se considera como alta heredabilidad. Para el grado de dominancia se tiene un valor de 4.11, el cual según Falconer (1985) se considera como sobredominancia, por lo que existe la seguridad de que en estas características, se reflejaran los efectos de dominancia en los híbridos simples que se formen con estas líneas.

En días a floración, la varianza aditiva fue negativa y por lo tanto se considera que no existió en este trabajo, por lo que la heredabilidad en el sentido amplio se debe a la varianza de dominancia con un valor del 86.02 por ciento valor que según Chavez (1995) es considerado como de alta heredabilidad. El grado de dominancia tiene un valor de 7.75, el cual Falconer (1985) lo considera como sobredominancia, por lo que al volver a repetir el dialélico existe amplia probabilidad de tener la misma expresión de las características evaluadas en los híbridos simples.

Para altura de planta, la varianza aditiva fue negativa por lo que se asume que no existió, pero si se obtuvo varianza de dominancia lo cual da como resultado un 71.20 por ciento de heredabilidad en el sentido amplio, considerándose como alta heredabilidad (Chavez,1995). El grado de dominancia fue de 4.11 clasificándose como sobredominancia (Falconer, 1985). Por lo que se puede tener la seguridad que se obtendrá la misma expresión de esta característica en posteriores ensayos, siempre y cuando las condiciones ambientales sean similares.

Para índice de cosecha la varianza aditiva fue positiva pero muy pequeña, lo cual dio un 1.7 por ciento de heredabilidad en el sentido estrecho, valor que de acuerdo con Chavez (1995) es considerado como de baja heredabilidad. La magnitud y predominio de la varianza de dominancia, origino un 82.17 por ciento de heredabilidad en el sentido amplio, considera como alta

heredabilidad (Chavez, 1995). El grado de dominancia fue de 9.93, valor que según Falconer (1985) es considerado como sobredominancia.

En todas las características predominó la varianza aditiva con sobredominancia, lo cual concuerda con la teoría de De La Loma (1954) el cual dice que el mayor vigor híbrido se debe a la presencia en el cigote, de un mayor número de genes dominantes, que en los progenitores, por reunirse en aquel los genes dominantes aportados por éstos. Al respecto, de la sobredominancia esto indica que se tiene una mayor frecuencia de genes con efectos positivos de categoría no aditiva. Como indica Márquez (1993), los valores mayores de la unidad, en la estimación del grado de dominancia, proporcionan información para explotar la heterosis y para incrementar la producción de grano en el cultivo del maíz. Con estos resultados se puede asumir que para todas las características analizadas se pueden explotar los efectos de dominancia para trabajar con híbridos.

## VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y a los resultados obtenidos en el presente trabajo se concluye:

\*Existieron diferencias estadísticas significativas entre las líneas y sus cruzas para las cinco características evaluadas.

\*Las tres líneas con mayores efectos de ACG, para cada una de las variables fueron  $P_5$ ,  $P_4$  y  $P_1$  para rendimiento;  $P_4$ ,  $P_5$  y  $P_6$  para índice de área foliar,  $P_5$ ,  $P_2$  y  $P_6$  para días a floración;  $P_2$ ,  $P_1$  y  $P_4$  para altura de planta y  $P_5$ ,  $P_3$  y  $P_6$  para índice de cosecha.

\*El progenitor  $P_5$  en rendimiento, índice de área foliar, días a floración e índice de cosecha, tuvo el más alto valor de ACG, teniendo valor negativo solamente en la variable altura de planta.

\*Las cruzas con mayor ACE para cada una de las variables fueron  $P_5 \times P_2$ ,  $P_2 \times P_3$  y  $P_3 \times P_4$  para rendimiento,  $P_1 \times P_2$ ,  $P_1 \times P_6$  y  $P_3 \times P_4$  para índice de área foliar,  $P_4 \times P_5$ ,  $P_2 \times P_5$  y  $P_1 \times P_3$  para días a floración,  $P_2 \times P_5$ ,  $P_3 \times P_4$  y  $P_5 \times P_6$  para altura de planta y  $P_3 \times P_6$ ,  $P_3 \times P_4$  y  $P_2 \times P_3$  para índice de cosecha.

\*Las cruzas con mayor rendimiento de grano son  $P_4 \times P_6$ ,  $P_3 \times P_5$  y  $P_3 \times P_4$  con medias de rendimiento de 10352.41, 9460.98 y 9297.70 kg/ha

\*Existe variabilidad genética de dominancia entre los progenitores para todos los caracteres, la cual se debe de aprovechar para la formación de híbridos dobles y triples.

\*La heredabilidad en todas las variables evaluadas es de sobredominancia, lo cual corresponde a una expresión alta, lo cual favorece la formación de híbridos con los progenitores estudiados en el presente trabajo.

## VII RESUMEN

El presente trabajo fue realizado en la Comarca Lagunera en las localidades de San Pedro (El Retiro) y Torreón (UAAAN-UL) Coah. El objetivo del presente estudio fue conocer la aptitud combinatoria general (ACG) y la aptitud combinatoria específica (ACE), de seis líneas endogámicas de maíz: L-AN-123R (P<sub>1</sub>), L-AN-447 (P<sub>2</sub>), L-AN-360PV (P<sub>3</sub>), L-AN-130 (P<sub>4</sub>), L-AN-123 (P<sub>5</sub>) y L-AN-388R (P<sub>6</sub>). Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con dos repeticiones por localidad. Para estimar los efectos de ACG y ACE, se utilizó el diseño II de Griffing (1956), la parcela experimental consto de cuatro surcos de 4 m de largo y 75 cm de ancho, con una distancia entre plantas de 25 cm.; en ambas localidades se midieron las variables: rendimiento (REND), índice de área foliar (IAF), índice de cosecha (IC), días a floración (DF) y altura de planta (ALTPLA). Los resultados del análisis combinado indican que los genotipos son diferentes entre sí. Los mejores genotipos para rendimiento fueron: P<sub>4</sub>xP<sub>6</sub> , P<sub>3</sub>xP<sub>5</sub> , P<sub>3</sub>xP<sub>4</sub> , P<sub>5</sub>xP<sub>6</sub> ; en índice de área foliar todos las cruza resultaron estadísticamente iguales al 5%. En días a floración fueron más tardías las líneas con un intervalo de 84 a 81 días y las cruza de 74.25 a 69.75 días. En altura de planta las cruza fueron más altas que las líneas, teniendo las cruza de 2.46 a 1.78 m de altura, y las líneas una altura de 1.88 a 0.94 m. El índice de cosecha para los híbridos tuvo valores de 41.15 hasta 25.86. En las líneas el IC vario de 9.44 a 20.99.

Tres líneas resultaron con efectos positivos de ACG para rendimiento, índice de área foliar, días a floración y altura de planta y cuatro para índice de cosecha. Para ACE, la mejor craza para rendimiento fue la  $P_2 \times P_5$  teniendo efectos positivos para las demás características evaluadas, excepto para días a floración que fue negativa, para todas las características evaluadas se tienen cruza con efectos positivos y con negativos de . Se encontraron efectos positivos de heterosis, tanto para media de progenitores como para el progenitor superior, por lo que se puede explotar en programas de formación de híbridos.

Los efectos genicos se caracterizan fundamentalmente por un efecto genético de dominancia, para todas las variables, por lo que la heredabilidad se estimo solo en el sentido amplio, excepto para IC. Se detecto sobredominancia para todas las características evaluadas.

En base a los resultados se asume que para todas las características analizadas se pueden utilizar los efectos de dominancia y heredabilidad para trabajar con híbridos.

## VIII. BIBLIOGRAFIA

- Alvarado L. 1987. Efectos génicos y heterosis en cultivares tropicales de maíz. Memorias de la 33ra Reunión Anual. PCCMCA. Guatemala. p. 80-99.
- Allard, R.W. 1980. Principios de la Mejora Genética de las Plantas. EOSA. España. 498 p.
- Atlas del medio físico nacional. 1982. Secretaria de Programación y Presupuesto. México. p. 26-31.
- Brauer, H. O. 1981. Fitogenética aplicada. ELSA. Primera impresión. México. 518 p.
- Callejas, M. J. 1986. Mejoramiento genético de maíz (*Zea Mays* L.) utilizando la selección recurrente de hermanos completos y medios hermanos. Tesis Licenciatura. UG. Irapuato, Gto. p. 38-39.
- Castañon, N. G., Medina, M. J., Zetina, L., Arano, S. R. y Raygoza, U. B. 1998. Efecto heterótico entre líneas divergentes en resistencia al achaparramiento del maíz. XVII Congreso de Fitotecnia. Acapulco, Mex. p. 214.
- Comstock, R. E. y Moll, R. N. 1963. Genotype environment interactions. Symposium on statistical genetics and plant breeding. Was-NPCpub. pp. 164-165.
- Córdova, H. S. y Vasal, S. K. 1996. Estrategias en el desarrollo y mejoramiento del germoplasma de maíz orientado a la agricultura sustentable. Curso Internacional de Actualización en Fitomejoramiento y Agricultura Sustentable. UAAAN. Buenavista, Saltillo Coah. pp. 99-123.
- Cox, R. W. 1996. Whole plant physiological and yield response of maize to plant density. *Agron. J.* 88:489-496.
- Crees, C. E. 1956. Heterosis of the hybrid to gene frequency differences between two populations. *Genetics* 53:269-274.
- Crosbie, T. M. y J.J. Mock. 1981. Changes in physiological traits associated with grain yield improvement in three maize breeding programs. *Crop. Sci.* 21:255-259.
- Chávez A., J. L. 1995. Mejoramiento de plantas II. Trillas. Primera impresión. México. pp. 88, 115-118.

- Chávez A., J. L. y López E. 1995. Mejoramiento de plantas I. UAAAN: México. P. 158.
- De la Loma, J. L. 1954. Genética General Aplicada. UTEHA. México. Segunda Edición. 427 p.
- Edmeades, G. O., Bolaños, J., Chapman, S.C., Lafitte, H. R. and Bänziger, M. 1999. Selection Improves Drought Tolerance in Tropical Maize Populations: I. Gains in Biomass, Grain Yield, and Harvest Index. *Crop Sci.* 39:1306-1315.
- Falconer ; D. S. 1985. Introducción a la genética cuantitativa. Decimotercera Impresión. CECSA. México. 135 p.
- Goldworthy, P. R. 1974. Fisiología del maíz en: El mejoramiento del maíz a nivel mundial en la década de los setentas y el papel del CIMMYT. El Batán. México. 30 p.
- Gómez N., M., Valdivia B. R. y Mejía H. A. 1988. Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. *Fitotecnia Mexicana* 11: 103-120.
- Graybill, J. S., W. J. Cox and D.J. Otis 1991. Yield and quality of forage maize as influenced by hibrid, planting date and plant density. *Agron. J.* 83:559-564.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9: 463-493.
- Hallauer, A. R. 1988. Quantitative genetics in maize breeding. ISU Press/Ames. USA. p. 468 .
- Hayes, H. K. 1952. Development of the heterosis concept. Edit John W. Low. Sta Coll Press pp. 49-60.
- Hoegenmeyer, T.C. y Hallauer A. R. 1976. Selection among and within full-sib families to develop single crosses of maize. *Crop Sci.* 16: 76-80.
- Jugenheimer, W. R. 1990. Maíz. ELSA. Cuarta reimpression. México. p. 841.
- Kang, S. M., Kushairi, D. A., Zhang, Y., and Magari, R. 1999. Combining ability for rinde puncture resistance in maize. *Crop. Sci.* 39:368-371.
- Livera, M. M. 1992. Micrometeorología aplicada al fitomejoramiento: su enseñanza en el C.P. XIV Congreso Nacional de Fitogenética. Tuxtla

Gutiérrez, Chis. p. 50.

- Luchsinger, L. A. y Violic M. A. 1972. Capacidad combinatoria y específica para rendimiento y sus componentes de 10 líneas de maíz. *Fitotecnia Latinoamericana* 8:36-40.
- Márquez, S., F. 1988. *Genotecnia vegetal*. Tomo II. AGTESA. México. p. 563.
- Márquez, S., F. 1992. La interacción genético - ambiental en genotecnia vegetal. *Memorias. Simposio Internacional Genotipo - Ambiente en Genotecnia Vegetal*. Guadalajara, Jal., México. pp. 1-27.
- Márquez, S., F. 1993. *Métodos de mejoramiento genético del maíz*. UACH. México. p. 77 .
- Martínez, G., A. 1983. *Diseños y análisis de experimentos de cruza dialélicas*. Centro de Estadística y Cálculo. CP. México. p.252 .
- Molina, G. J. D y Yañez G. C. 1998. LA aptitud combinatoria general de líneas de maíz (*Zea mays L.*) en la explicación de heterosis. II Congreso Latinoamericano de Genética. Monterrey, N. L., Mex. p. 374 .
- Molina, G. J. D y Lobato O. R. 1998. LA aptitud combinatoria general de líneas autofecundadas de maíz en la estimación de heterosis. XVII Congreso de Fitotecnia. Acapulco, Mex. p. 214.
- Moll, R. H, W. S. Salhuana and H. F. Robinson. 1962. Heterosis and genetic diversity in variety of maize. *Crop. Sci.* 2:197-198.
- Morales R., m. m. 1996. Heterosis y Aptitud Combinatoria de Híbridos Comerciales de Maíz de Jalisco. XVI Congreso de Fitogenética. C.p. p. 214.
- Oyervides G., M. 1979. Estimación de parámetros genéticos, heterosis e índices de selección en variedades tropicales de maíz. Tesis. Maestría. CP. México. 118 p .
- Peña, R. A. y S.M. Del Campo. 1993. Selección de líneas y respuesta de variedades de maíz bajo condiciones ambientales diferentes. *Fitotecnia. Revista de la Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C.* Vol. Num 1. Pag. 37-45.
- Pinter, L. Alford Z., Burucs Z and Paldi E. 1994. Feed value of forage maize hybrids varying in tolerance to plant density. *Agron. J.* 86:799-804.

- Pons H., J. L., Carballo. Q. A., González. H. V. y Angeles A. H. Modificaciones al índice de cosecha. 1991. *Agrociencia Serie Fitociencia*. 2:35-49.
- Puertas, G., M. J. 1992. *Genética. Fundamentos y perspectivas* McGraw-Hill. España. 741 p.
- Ramírez, C. A. 1996. Asociación entre algunos componentes de altura de planta, rendimiento y acame de una población de segregante F<sub>1</sub> de maíz. Curso Internacional de Actualización en Fitomejoramiento y Agricultura Sustentable. UAAAN. Buenavista, Saltillo Coah. p. 290.
- Rivera, F. H. 1977. Efecto de la diversidad genética en la heterosis de cruzas intervarietales de maíz. Tesis. Maestría. CP. México. .98 p
- Sierra, M. M. y Preciado O. R. E. 1988. Análisis e interpretación de cruzas dialélicas con germoplasma tropical precoz de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 11:92-102.
- Singh, I. D., y Stoskopf. N. C. 1971. Harvest index in cereals. *Agron. J.* 63:224-226.
- Sprague, G. F. y Tatum. L. A. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34: 923-932.
- Tollenaar, M. 1989. Genetic improvement in grain yield of comercial maize hibrids grown in Ontario from 1959 to 1988. *Crop Sci.* 29:1365-1371.
- Vasal, S. K. y H. Córdova. 1996. Heterosis en maíz: acelerando la tecnología de híbridos de dos progenitores para el mundo en desarrollo. Curso Internacional de Actualización en Fitomejoramiento y Agricultura Sustentable. UAAAN. Buenavista, Saltillo Coah. pp. 32-54.
- Vasal, S. K., Srinivasan G., Vergara A. N. y González C. F. 1995. Heterosis y aptitud combinatoria en germoplasma de maíz de Valles Altos. *Rev. Fitotec. Mex.* 18:123-129.
- Vergara, A. N, Rodríguez H. S. A, Vasal S. K. y McLean S. D. 1996. Aptitud combinatoria de líneas de Maíz generadas en el CIMMYT. Curso Internacional de Actualización en Fitomejoramiento y Agricultura Sustentable. UAAAN. Buenavista, Saltillo Coah. pp. 286-287.
- Villanueva, V. C., Castillo, G. F. y Molina, G. J. D. 1994. Aprovechamiento de cruzamientos dialélicos entre híbridos comerciales de maíz: Análisis de progenitores y cruzas. *Rev. Fitotec. Mex.* 17:175-185.