

APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN GRUPOS DE LÍNEAS CONTRASTANTES DE MAÍZ¹

POR

GENNY LLAVEN VALENCIA

TESIS

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



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

Asesor Principal: Dr. Armando Espinoza Banda

Torreón, Coahuila, México

Abril 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN GRUPOS DE LÍNEAS
CONTRASTANTES DE MAÍZ

TESIS

POR

GENNY LLAVEN VALENCIA

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

MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS

COMITÉ PARTICULAR:

Asesor Principal:


Dr. Armando Espinoza Banda

Asesor:


MC. José Luis Coyac Rodríguez

Asesor:


Dra. Oralia Antuna Grijalva

Asesor:


Dr. Mario García Carrillo

Dr. Fernando Ruíz Zarate
Subdirector de Postgrado

Dr. Pedro Antonio Robles Trillo
Jefe del Departamento de Postgrado



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN GRUPOS DE LÍNEAS
CONTRASTANTES DE MAÍZ**

TESIS

ELABORADA POR:

GENNY LLAVEN VALENCIA

DIRIGIDA POR:


DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS**

Torreón Coahuila, México, Abril 2013.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones.

A mi padre, a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí.

A mis amigas Aidé Hernández, Claribel Guzmán, y Yamileth Rodríguez a quienes quiero muchísimo, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento.

A mis Hermanos, porque los amo infinitamente.

A mis asesores.

Dr., Armando Espinoza Banda,

Dr. Mario Gracia carrillo,

Dra., Oralia Antunar

MC. José Luis Coyac.

Porque sin el equipo que formamos, no hubiéramos logrado esta meta.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mi madre, que con su demostración de una madre ejemplar me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A mi Padre que desde donde se encuentra a guiado mis pasos para alcanzar mis metas y cumplir mis sueños, gracias papa.

A mis Maestros

Dr. Armando Espinoza Banda por su gran apoyo y motivación para poder culminar este trabajo; por compartir sus enseñanzas, señalar mis errores y reconocer mis aciertos.

Dra. Oralia Antunar, Dr. Mario Gracia Carrillo, MC. José Luis Coyac Rodríguez. Gracias por el tiempo compartido en las asesorías de mejora para este trabajo.

Contenido	
DEDICATORIA -----	ii
AGRADECIMIENTOS -----	2
ÍNDICE DE CUADROS -----	5
COMPENDIO -----	6
ABTRACT -----	8
I. INTRODUCCIÓN -----	10
OBJETIVO -----	13
HIPÓTESIS -----	13
METAS. -----	13
II. REVISIÓN DE LITERATURA -----	14
2.1. Descripción del cultivo del maíz. -----	14
2.2. Línea pura -----	15
2.3. Heterosis -----	16
2.4. Híbridos -----	19
2.4.1. Híbrido Simple -----	19
2.4.2. Híbrido Trilineal. -----	19
2.4.3. Híbrido Doble: -----	20
2.5. Interacción genotipo ambiente -----	20
2.6. Aptitud Combinatoria -----	21
2.7. Parámetros genéticos (acción génica) -----	24
2.8. Diseños Genéticos -----	25
2.8.1. Cruzas Dialelicas -----	25
2.9.2. Aplicación de los diseños dialelicos -----	29
III. MATERIALES Y METODOS -----	32
3.1 Localización geográfica. -----	32
3.2. Condiciones climáticas de la Comarca Lagunera. -----	32
3.4. Material genético. -----	33
3.5. Evaluación de cruzas. -----	34
3.6. Diseño genético. -----	35
3.10. Determinación de Heterosis -----	37

4.- Manejo Agronómico.....	37
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1.1. Análisis de varianza ciclo primavera	40
4.1.2. Análisis de varianza ciclo verano.....	41
4.1.3. Primavera Vs. Verano.....	43
4.1.3.1. Aptitud Combinatoria General ciclo Primavera	44
4.1.3.2. Aptitud Combinatoria General ciclo verano	45
4.1.3.3 Efectos de ACG en ciclo primavera y verano	46
4.1.3.4. Aptitud Combinatoria Específica (ACE)	46
4.1.3.5. Aptitud Combinatoria Específica (ACE).....	49
4.1.3.6. Efectos de aptitud combinatoria específica primavera Vs. verano.	50
4.1.4. Rendimiento y características agronómicas	50
4.1.3. Análisis de Varianza de Dialélico combinado	55
4.1.4. Heterosis.....	61
VI. CONCLUSIONES.....	63
VIII. BIBLIOGRAFÍA	64

ÍNDICE DE CUADROS

No. De cuadros	Pág.
Cuadro 1. <i>Medias anuales de temperaturas, unidades calor (UC) y precipitaciones, que expresadas durante la conducción del experimento en año 2011.</i>	32
Cuadro 2. <i>Genealogía de material genético utilizado como progenitores 2011.</i>	33
Cuadro 3. <i>Cruzas posibles de seis progenitores, bajo el método II de cruzas dialelicas (Grifing, 1956).</i>	34
Cuadro 4. <i>Análisis de varianza del diseño dialélico de Griffing (1956) método II de efectos fijos.</i>	36
Cuadro 5. <i>Significancia de cuadrados medios de 11 variables en 15 híbridos experimentales derivados de cruzas dialélicas de seis progenitores, ciclo primavera-verano. UAAAN-UL. 2011.</i>	37
Cuadro 6. <i>Aptitud combinatoria general (ACG) de seis progenitores evaluados en ciclo primavera y verano. UAAAN UL. 2011.</i>	39
Cuadro 7. <i>Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de seis progenitores (P) y sus cruzas en 11 variables, en los ciclos primavera-Verano. UAAN-UL. 2011.</i>	42
Cuadro 8. <i>Valores medios de 11 variables en seis progenitores (P) en los ciclos primavera y verano. UAAAN-UL 2011.</i>	46
Cuadro 9. <i>Valores medios de 11 variables en 15 cruzas evaluadas en los ciclos primavera y verano. UAAAN-UL 2011.</i>	48
<i>Significancia de cuadrados medios de 11 variables en 15 híbridos.</i>	
Cuadro 10. <i>Experimentales derivados de seis progenitores en dos ambientes de la Comarca Lagunera. UAAAN-UL 2011.</i>	50
Cuadro 11. <i>Efectos de ACG y ACE en seis progenitores (P) y sus cruzas en 11 variables en dos ambientes de la Comarca Lagunera. UAAAN-UL 2011.</i>	53
Cuadro 12. <i>Heterosis media para rendimiento de grano y características agronómicas de 15 cruzas directas evaluadas en los ciclos primavera y verano en la UAAAN-UL, 2011. Torreón, Coah</i>	55

**COMPENDIO
APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN GRUPOS DE LÍNEAS
CONTRASTANTES DE MAÍZ¹**

POR

GENNY LLAVEN VALENCIA

MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

Torreón Coahuila, México, Marzo 2013

Palabras clave: Zea mays L., ACG, ACE, líneas endocriadas,

El trabajo se realizó en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en la Unidad Laguna (UAAANUL). En el verano del 2010, se formaron las cruzas y, en la primavera y verano del 2011 se evaluaron. Se usaron seis líneas endocriadas, tres provenientes del Centro Internacional de Maíz y Trigo (CIMMYT) y tres del programa de mejoramiento de maíz de la UAAANUL. El objetivo fue estimar la aptitud combinatoria general (ACG) de las líneas y la aptitud específica (ACE) de las cruzas, así como el grado promedio de heterosis para rendimiento de grano y características agronómicas. El ciclo (Primavera-Verano) afectó significativamente ($P < 0.01$ y 0.05) al rendimiento de grano, sus componentes y a la floración. Los efectos de ACE, fueron más importantes para rendimiento de grano, diámetro y longitud de mazorca y floración masculina; el resto para ACG. El mayor efecto de ACG para rendimiento de grano (RG) se

observó en el P24 (435 t ha^{-1}) y para ACE, la cruza 23x24 mostró el mayor efecto positivo y significativo ($1620.7 \text{ Kg ha}^{-1}$) seguido de cuatro cruzas más, además fue la de mayor rendimiento de grano. La heterosis promedio fue mayor al 20% solo para peso de mil semillas (PMIL) y RG. En Rendimiento de grano (RG) el mayor porcentaje de heterosis fue para la cruza 26x27.

ABSTRACT
COMBINING ABILITY AND HETEROSIS IN GROUPS OF LINES
CONTRASTANTES OF MAIZE¹

POR

GENNY LLAVEN VALENCIA

MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

Torreón Coahuila, México, Marzo 2013

Key word: Zea mays L, GCA, SCA, inbred lines.

The work was done at the experimental station of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Campus Laguna (UAAANUL). Crosses were generated in summer 2010, and evaluated in spring and summer, both seasons in 2011. Six inbred lines were used, three from the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) and three from UAAANUL's maize breeding program. The objective was to obtain estimates of general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA), as well as the average degree of heterosis for grain yield and agronomic traits. Cycle (spring-summer) had significance ($P < 0.01$ and 0.05) for grain yield, yield components and flowering. The SCA effects were more important for grain yield, diameter and length of ear, and male flowering; the remain variables were for GCA. The higher effect of GCA for grain yield (RG) was observed in P24 (435 t ha^{-1}) and for SCA, the cross 23 x 24 showed the most

positive and significant effect ($1620.7 \text{ Kg ha}^{-1}$) followed by four additional crosses, also it was the highest yield of grain. The average heterosis was higher than 20% only for weight of thousand seeds (PMIL) and RG. For grain yield (RG), the higher percentage of heterosis was found in the cross 26x27

I. INTRODUCCIÓN

La situación económica y social del campo en México, presenta un panorama desolador frente al inicio del siglo, el crecimiento poblacional, la dependencia alimentaria de los Estados Unidos de América, las necesidades globales de alimento, el cambio climático debido al deterioro ambiental y sus efectos en las incidencias en las sequías e inundaciones, crece un panorama de incertidumbre en aquellas regiones donde las necesidades de agua impedirán la autosuficiencia alimentaria, la pérdida de tierras cultivables por la erosión, el incremento del área urbana, la recreación e industria.

El cultivo moderno del maíz se basa principalmente en la utilización de híbridos simples a partir del cruzamiento de líneas puras. Los híbridos maximizan la heterosis o vigor híbrido, el cual se basa en el cruzamiento de líneas de orígenes distintos, lo que constituye diferentes fórmulas de híbridos o patrones heteróticos (Mladenovic *et al* 2002). Dentro de estos patrones heteróticos, el más comúnmente utilizado ha sido el formado por líneas puras procedentes de las variedades *Reid Yellow Dent* y *Lancaster Surecrop*.

México es el centro de domesticación y uno de los centros de diversidad del maíz (Matsuoka *et al* 2002); posee, por lo tanto, una amplia variabilidad genética expresada en una gran cantidad de poblaciones (Sánchez *et al.*, 2000), de las cuales algunas muestran alta capacidad de rendimiento *per se* o en combinación con otras (Morales *et al.*, 2007), por lo que son consideradas un valioso recurso fitogenético.

La diversidad genética de maíz a través de un proceso evolutivo continuo, que involucra la selección consciente e inconsciente del hombre, así como del ambiente, y el flujo génico, ha permitido la adaptación del maíz a todos los sistemas de producción que se realizan en las diversas condiciones ambientales; además, esta variabilidad genética constituye una riqueza para las generaciones actuales y futuras (Preciado *et al*, 2011).

La diversidad de germoplasma es importante para los programas de mejoramiento genético, por su potencial como fuente de características (Vigouroux *et al.*, 2008).

La optimización del uso de la heterosis se fundamenta en el conocimiento de la diversidad genética de las líneas puras, empleadas en la obtención de los híbridos de maíz. Se han utilizado diferentes técnicas para la caracterización de dichas líneas tales como datos de pedigrí, caracteres morfológicos, isoenzimas y marcadores moleculares de ADN como RFLP, RAPD, AFLP y SSR (Gethi *et al.* 2002).

Entre los métodos existentes para estudiar las cualidades de un conjunto de progenitores se encuentran los diseños dialélicos propuestos por Griffing (1956), que permiten identificar las combinaciones superiores. Sprague *et al* (1942) propusieron el método que incluye a las cruas dialélicas y que originó los conceptos de aptitud combinatoria general y específica.

La aptitud combinatoria significa la capacidad que tiene un individuo o una población, de combinarse con otros, medida por medio de su progeie (Márquez, 1988). Sin embargo, la aptitud combinatoria debe determinarse no sólo en un individuo de la población sino en varios; a fin de poder seleccionar los que exhiban

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

En la Comarca Lagunera, el sistema producto maíz se siembra bajo ciclos bien definidos (Primavera y Verano), pero contrastantes en cuanto a las condiciones climáticas. Una característica climática determinante en el comportamiento agronómico y rendimiento del maíz en estos ciclos, es la temperatura. El ciclo primavera con temperaturas más frescas que verano. Por tal razón resulta conveniente contar a nivel regional con híbridos que produzcan bien en ambos ciclos.

OBJETIVO

Determinar el tipo de acción génica predominante en el material evaluado, con base a los valores de ACG y ACE.

Determinar los efectos de aptitud combinatoria general y específica para rendimiento de grano y características agronómicas en líneas y sus cruzas.

Cuantificar la heterosis de los híbridos generados.

Detectar la mejor combinación híbrida en ambos ciclos de siembra.

HIPÓTESIS

Es posible identificar líneas de grupos contrastantes, en donde la acción génica no aditiva sea la predominante; asimismo, existe diferencias significativas en la magnitud de la aptitud combinatoria general para las líneas consideradas en el presente estudio, y por lo tanto, también existen diferentes niveles de heterosis y heterobeltiosis, así como de aptitud combinatoria específica.

METAS.

Las metas del presente estudio comprenden la estimación de la aptitud combinatoria general de dos grupos de líneas contrastantes. También, la identificación y selección de dos cruzas con efectos altos de ACE y heterosis; bajo estas definiciones, se espera tener al menos un par de híbridos que igualen o superen el rendimiento promedio regional.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descripción del cultivo del maíz.

Los granos de maíz pueden variar en color (blancos, amarillos, naranjas, rojos y negros), cantidad de granos entre trescientos a mil por mazorca, peso de (190g a 300g por 1000 gramos), (FAO 2009). La diversidad de ambientes bajo los cuales es cultivado el maíz, es mucho mayor que la de cualquier otro cultivo. Su origen es en la zona tropical y hoy en día se cultiva desde los 58° latitud Norte en Canadá y Rusia, hasta los 40° latitud Sur en Argentina y Chile. La mayor parte del maíz se cultiva en latitudes medias, pero se encuentra también a nivel del mar y hasta los 3800 msnm (Carrera M, 2005).

El maíz es considerado de dos tipos distintos dependiendo de la latitud y del ambiente en el que se cultive. El maíz cultivado en ambientes cálidos, entre línea ecuatorial y los 30° latitud N, es conocido como maíz tropical; mientras que aquellos que se cultivan en climas fríos más allá de los 34° de latitud S y N se conocen como temperados o de zonas templadas (Dowswell *et al.*, 1996).

El crecimiento y desarrollo del maíz se dividen en las siguientes fases:

Fase vegetativa inicial: Abarca desde la germinación hasta la iniciación del tallo.

Fase vegetativa activa: Comprende desde que comienza la elongación del tallo, hasta la floración femenina.

Fase del periodo del llenado del grano inicial: Incluye desde la floración hasta el crecimiento del grano. Este es una fase de transición entre el estado vegetativo y el estado reproductivo.

Fase del periodo del llenado del grano Activo: En esta etapa, el peso del grano aumenta rápidamente y las partes vegetativas sufren una pequeña disminución.

2.2. Línea pura

Chávez (1995) las líneas puras después de este proceso de autofecundación ya no puede diferenciarse fácilmente una de otra; cuando esto sucede; se dice que la línea es altamente homocigótica, 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. La disminución del vigor por efecto de la endogamia se equilibra después de cinco a siete generaciones de autofecundaciones. A esta disminución de vigor se le denomina Depresión endogámica.

Aproximadamente, la mitad de la reducción total del vigor se registra en la primera generación autofecundada, el resto de la pérdida se registra por mitad en cada generación sucesiva. Las reducciones son pequeñas después de tres a cinco generaciones donde se obtienen plantas con características homocigóticas (Balderrama C, *et al*; 1997).

Son aquellas no relacionadas o que son derivadas de poblaciones mejoradas y genéticamente amplias, generalmente poseen buena ACG cuando son cruzadas

con probadores comerciales que pudieran ofrecer altos beneficios a la industria semillera (Carena 2005).

2.3. Heterosis

La heterosis (también llamado vigor híbrido) es un fenómeno de superioridad, característico de ciertas especies, que presenta la cruce entre dos individuos, habitualmente diferenciados genotípica y fenotípicamente entre sí. La aplicación de heterosis en maíz, uno de los principales recursos alimenticios del mundo, representa incrementos de miles de millones de dólares en la producción. Uno de los principales retos que encaran los mejoradores de maíz es la asignación de líneas a grupos heteróticos (Shull 1948).

El vigor híbrido es el incremento o productividad de una planta híbrida sobre el promedio o media de sus progenitores. Shull, citado por Poehalmn y Sleper (2003) propuso el término de heterosis como expresión del vigor híbrido. La heterosis o vigor híbrido es el resultado de reunir una serie de genes dominantes favorables, (Jugenheimer; 1981).

Harberg (1953) expresó que la dominancia y sobre-dominancia pueden existir simultáneamente y contribuir a la heterosis como un fenómeno en el cual el cruzamiento de dos variedades produce un híbrido que es superior en crecimiento, tamaño, rendimiento o vigor en general. La importancia y utilización de la heterosis depende de los incrementos del rendimiento y la adquisición de otros caracteres

agronómicos deseados, la facilidad de hibridación, o bajo costo de la producción de semilla.

Graffius (1959) dice que la dominancia y epístasis se les puede considerar como mecanismos capaces de producir heterosis y las considera no mutuamente exclusivas.

El mejoramiento genético es un proceso continuo en la formación de híbridos y variedades de maíz (*Zea mays* L.) para uso comercial. El conocimiento del tipo de acción génica que controla los caracteres agronómicos y químicos es básico para la planeación y desarrollo de un programa de mejoramiento genético de maíz con calidad forrajera (Castillo G, F, 1994).

Sprague y Tatum (1942) definieron el método que incluye a las cruzas dialélicas y generaron los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE). Entre los métodos existentes para estudiar las cualidades de un conjunto de progenitores se encuentran los diseños dialélicos descritos por Griffing (1956), que permiten identificar las combinaciones superiores. El término aptitud combinatoria significa la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, medida a través de su progenie (Márquez 1988). Sin embargo, en una población la aptitud combinatoria debe determinarse en varios individuos con el objeto de seleccionar los que exhiban la más alta aptitud combinatoria. La aptitud combinatoria general (ACG) explica la proporción de la varianza genotípica debida a los efectos aditivos de los genes, mientras que la aptitud combinatoria específica (ACE) explica la proporción de la varianza

genotípica que puede deberse a las desviaciones de dominancia (Gutiérrez et al. 2002).

En un programa de mejoramiento cuya finalidad sea la obtención de híbridos, la aptitud combinatoria específica es más importante que la aptitud combinatoria general, debido a que se aprovechan los efectos no aditivos como la dominancia y la epístasis (Hoegenmeyer y Hallahuer, 1976). La selección de germoplasma de maíz (*Zea mays* L.) que pueda servir a los programas de mejoramiento genético requiere del conocimiento de la diversidad genética y una idea clara del objetivo que se persigue. Según Sprague y Finlay (1976), la evaluación de una gran diversidad de germoplasma, aunque es un trabajo arduo, puede redituarse importantes resultados, ya sea por la identificación de colecciones sobresalientes *per se*, la elección de combinaciones que permitan explotar la heterosis, o bien por la posibilidad de contar con genes que determinan caracteres cuantitativos deseables y que mediante recombinación y selección paulatina puedan concentrarse para generar poblaciones superiores.

La evaluación de poblaciones apoya al programa de hibridación, mediante el suministro de las mejores poblaciones de polinización libre con alta frecuencia de alelos favorables.

Dicha evaluación permite a los mejoradores concentrar sus esfuerzos en las poblaciones con potencial de producir progenies superiores (Vacaro et al., 2002).

2.4. Híbridos

De acuerdo con De la Loma (1954), el objetivo inmediato de la hibridación es la producción de ejemplares que presenten nuevas combinaciones o agrupaciones de caracteres de mayor vigor, por ambas causas constituye un método de gran interés cuya aplicación se ha extendido de modo notable.

Chávez y López. (1995) mencionaron que el maíz híbrido es la primera generación de una cruce entre líneas autofecundadas y está es por autopolinización controlada, la utilidad de estas líneas autofecundadas pueden ser en cruces positivas y para la producción de semilla híbrida, así como también presentan las siguientes clasificaciones:

2.4.1. Híbrido Simple

Un híbrido simple es el resultado del cruzamiento de dos líneas endogámicas para obtener la generación F1; los híbridos simples son más uniformes y tienden a presentar un mayor potencial de rendimiento bajo condiciones ambientales favorables (De la Loma J., L, 1982).

2.4.2. Híbrido Trilineal.

Se forma con tres líneas autofecundadas, son el resultado de un cruzamiento entre una cruce simple y una línea auto-fecundada. La cruce simple como hembra

y la línea como un macho. Con frecuencia se puede obtener mayores rendimientos con una crusa triple que con una doble, aunque varíe la uniformidad de las plantas Loma J., L, 1982).

2.4.3. Híbrido Doble:

Es el producto del cruzamiento de dos híbridos simples, por lo que en su constitución genética involucran cuatro líneas autofecundadas; los híbridos dobles no son tan uniformes como los simples, por lo que presentan mayor variabilidad; es por esto que una crusa simple rinde más que una crusa trilineal y esta a su vez más que una doble Loma J., L, 1982).

2.5. Interacción genotipo ambiente

Para evaluar el comportamiento agronómico de los cultivares, generados de los programas de mejoramiento genético de cualquier rubro agrícola, es necesario medir la estabilidad relativa de los genotipos sometidos a la totalidad de los ambientes predominantes en una región potencial de adaptación. Las etapas finales de estos programas incluyen experimentos de evaluación en diferentes localidades durante varios años. (Cooper y Hammer, 1996).

La ocurrencia a menudo de interacción genotipo ambiente (G x A) en este tipo de ensayos exige la realización de estudios adicionales con el propósito de precisar la selección de individuos con adaptabilidad general y específica. La interacción G x A es frecuentemente descrita como la inconsistencia del comportamiento entre

genotipos desde un ambiente a otro, y cuando ésta ocurre en gran proporción reduce el progreso genético de la selección (Yang y Baker, 1991; Magari y Kang, 1993).

En la Comarca Lagunera, el maíz se siembra bajo ciclos bien definidos (Primavera y Verano), pero contrastantes en cuanto a las condiciones climáticas. Una característica climática determinante en el comportamiento agronómico del maíz en estos ciclos, es la temperatura. El ciclo primavera con temperaturas más frescas que verano. En primavera y verano la temperatura media es de 28.16 a 23.95°C respectivamente (INIFAP 2010).

2.6. Aptitud Combinatoria

Griffing (1956) menciona que tanto la varianza genética aditiva, como la no aditiva de una población parental estima los componentes aditivos y no aditivos, de la varianza genotípica de la población parental puede estimarse mediante el uso de los componentes de varianzas para ACG y CCE.

Rojas y Sprague (1952) relacionan varianzas para ACG y ACE a los posibles tipos de acción génica envueltos; la varianza para aptitud combinatoria general incluye la porción genética aditiva mientras que la varianza para aptitud combinatoria específica generalmente incluye la desviación por dominancia y epístasis. Así mismo señalan que estos efectos tienen mayor valor cuando se repiten en una serie de experimentos en años y localidades diferentes.

Sprague y Tatum (1942), propusieron los conceptos que envuelven actualmente las cruzas dialelicas teniendo su origen en el desarrollo de los conceptos de aptitud combinatoria general y específica. El termino de 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 termino aptitud combinatoria específica (ACE) para designar a la desviación que presenta la progenie de una crusa determinada, con respecto al promedio de sus padres.

En los programas de mejoramiento genético en maíz (*Zea mays* L) generalmente se identifican líneas con Aptitud Combinatoria General (ACG), las que posteriormente son probadas por su Aptitud Combinatoria Específica (ACE), en cruzamientos entre ellas o con una línea probadora elite. Sin embargo frecuentemente muchas de esas líneas aun cuando presentan alta ACG y ACE, poseen muchas características que todavía no se encuentran como niveles deseados (Ortiz y Mendoza, 1998).

En la generación de híbridos de maíz, la selección de progenitores es un factor importante para la obtención de híbridos de alto rendimiento de grano y características agronómicas adecuadas. La prueba de ACG se determina cruzando los progenitores con un probador común, Resultando con ello las cruzas probadoras que se les denomina mestizos (Márquez, 1988).

Las pruebas de ACG se pueden realizar con plantas seleccionadas originales (S0) o con la primera generación (S1) debido a que las líneas puras adquieren

individualidad como progenitores al principio del proceso de autofecundación pues su ACG permanece bastante estable en los primeros ciclos de su generación (Allard, 1980)

Uno de los principales inconvenientes que se tiene en las cruzas de ACG es la identificación del mejor probador. Sin embargo, Márquez (1988) también señala que el mejor probador depende el esquema de mejoramiento que se requiera realizar para lo cual se requiere una descripción detallada de los probadores de ACG en donde se establece que el probador más seguro es la variedad original.

Jugenheimer (1990), señala que la aptitud combinatoria general proporciona información sobre que líneas puras deben producir las mejores cruzas; los probadores deben seleccionarse por su buena capacidad de combinación con otras líneas. Debido a su heterogeneidad las variedades de polinización libre y los sintéticos generalmente se usan para determinar la ACG. La aptitud combinatoria general 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.

En el siglo XX y lo que va del XXI se han obtenido importantes logros en el crecimiento de rendimiento de grano de maíz y se ha obtenido mayor uniformidad en los materiales mejorados como resultado del proceso de selección, lo cual ha ocasionado una reducción de la base genética utilizada en el mejoramiento genético del maíz es una herramienta que permite la formación de híbridos y variedades para uso comercial. En el mejoramiento de plantas es importante el

conocimiento relativo al componente genético de los materiales usados como progenitores (Gutiérrez *et al.* 2004); En los programas de mejoramiento genético modernos para maíz, el enfoque principal ha sido orientado a desarrollar paquetes tecnológicos para producir variedades con alta uniformidad y potencial de rendimiento, este conjunto de factores ha contribuido a reducir las opciones de diversidad genética utilizada en el desarrollo de variedades mejoradas. La diversidad genética del germoplasma de maíz tropical, así como los criterios de selección aplicados en la evaluación del potencial genético, justifica a emprender estudios de diversidad genética asociados a características de rusticidad, tolerancia a enfermedades y alto rendimiento (Maya *et al.* 2002).

2.7. Parámetros genéticos (acción génica)

Conocer la acción génica que controla los caracteres de interés económico es básico para la planeación de un programa de mejoramiento genético. Mediante la aptitud combinatoria de los progenitores, el mejorador logra mayor eficiencia en su programa de mejoramiento, pues le permite seleccionar progenitores con un comportamiento promedio aceptable en una serie de cruzamientos e identificar combinaciones específicas con un comportamiento superior a lo esperado, con base en el promedio de los progenitores que intervienen en el cruzamiento (Gutiérrez *et al.* 2004).

Martínez (1983), señala que las cruzas dialelicas, 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 dialelicas se emplean para estimar los componentes genéticos de la variación entre los rendimientos de las propias cruzas, así como su capacidad de producción.

Gómez *et al* (1988) indica que la heterosis se ha empleado generalmente para incrementar la capacidad de rendimiento. La heterosis se obtiene al cruzar dos o más líneas. Para desarrollar un híbrido satisfactorio, se debe efectuar y probar un gran número de cruzas entre sus líneas puras sobresalientes hasta detectar la mejor. A mayor diversidad genética, mayor es el grado de heterosis.

2.8. Diseños Genéticos

2.8.1. Cruzas Dialelicas

Griffing (1956) propuso cuatro métodos para el análisis dialélico los cuales son de uso más frecuente para estimar los efectos de ACG y ACE, así como para el estudio genético de poblaciones biológicas y la comprensión de la acción génica en caracteres cuantitativos de importancia agrícola; asimismo, suministra al fitomejorador, las herramientas necesarias para la adecuada aplicación de los planes de mejoramiento a emplear (Hallauer y Miranda, 1981).

Baker, (1978). Describió el método de cruzas dialélicas permite estimar la ACG y ACE y se considera eficaz para detectar fuentes de germoplasma útiles para el mejoramiento genético del maíz. El apareamiento de cruzamientos dialélicos es útil para la evaluación de componentes genéticos en la variación del rendimiento de los progenitores y para calcular la capacidad productiva de sus cruzas.

Martínez (1983), menciona que existen fundamentalmente dos clases de experimentos de cruzas dialelicas, a saber: 1) los experimentos dialelicos completos, 2) los experimentos dialelicos parciales. Los primeros fueron introducidos formalmente por Griffing (1956). Las limitaciones que tienen 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 progenitores sus $p(p-1)/2$ cruzas simples. Sin embargo, el análisis propuesto por Gardner y Eberhart (1966), 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 progenitores ya sean estas líneas endogámicas o variedades de polinización libre en equilibrio. Otra característica que hace que el modelo sea de mucha utilidad es el hecho de que las variedades y las cruzas pueden ser predichas y, cuando los efectos específicos y los efectos heterocigóticos 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 de los efectos génicos son definidos en función de frecuencias de genes.

Cortez (1987), presentan las ventajas del modelo de Gardner y Eberhart (1966):

1. El modelo es completamente general:

- a) Puede ser aplicado en todas las características cuantitativas y agronómicas.
 - b) El modelo puede ser aplicado a cualquier grupo de progenitores y sus posibles derivados.
 - c) El número de progenitores pueden variar desde dos hasta tantos como puedan manejarse convenientemente.
2. Las suposiciones involucradas son mínimas. Para las interpretaciones genéticas se asume que todos los progenitores tienen el mismo nivel de endogamia.
3. La información genética que puede obtenerse es mayor que en otros modelos, debido a las poblaciones derivadas adicionales que se incluyan en el dialélico.
4. Todas las poblaciones derivadas de los progenitores y sus cruzas pueden ser incluidas (progenitores, progenitores autofecundados, cruzas F1's, F1's autofecundadas, etc.).
5. Los efectos genéticos para cada progenitor y cada cruza pueden ser estimados:
- a) Efectos acumulativos de aditividad.
 - b) Efectos acumulativos de dominancia intravarietal
 - c) Efectos acumulativos intervarietales de epistasis aditiva.

6. Los efectos de heretosis sirven como indicadores de la diversidad genética y proveen la base para la formación de fuentes germoplasmicas.
7. Se pueden estimar efectos maternos y recíprocos no maternos
8. La heterosis puede subdividirse en:
 - a) Heterosis promedio.
 - b) Heterosis varietal.
 - c) Heterosis especifica.
9. El modelo puede ser usado para evaluar el progreso por selección realizado en programas de selección recurrente.

En todo programa de mejoramiento genético de plantas es muy importante seleccionar a los progenitores que al ser cruzados produzcan buenas combinaciones híbridas. Diferentes métodos de evaluación se han propuesto para tal fin, pero los de mayor aplicación son los diseños dialélicos presentados por Griffing (1956).

Las cruza dialélicas generalmente son utilizadas por los programas de mejoramiento de planta para obtener información de aptitud combinatoria y parámetros genéticos de sus fuentes de germoplasma (Hallauer y Miranda 1981).

Los cruzamientos dialélicos son utilizados para estimar los efectos genéticos de las poblaciones en mejoramiento y la información analizada críticamente es valiosa para definir patrones heteróticos, los cuales constituyen una fuente de

germoplasma para la generación de líneas élite de suma utilidad en un programa de mejoramiento dinámico. En todo programa de mejoramiento genético, la elección de germoplasma es una de las decisiones más importantes que el mejorador debe tomar, ya que puede ser determinante en el éxito del programa (Montesinos et al., 2005)

El mejoramiento del maíz incluye dos componentes de igual importancia: la elección del germoplasma y el desarrollo de líneas para su uso en híbridos (Castañón, et al. 2005). El éxito de cualquier programa genético con énfasis en el desarrollo de líneas endocriadas para la formación de híbridos, dependerá de la elección del germoplasma base a considerarse dentro del programa de mejoramiento. De tal forma que elección de variedades para ser usados como población base en un programa de selección recurrente dependerá de, 1) media de comportamiento de los variedades, 2) heterosis varietal, y 3) de la variación genética dentro de la población (Maya y Ramírez 2002).

2.9.2. Aplicación de los diseños dialelicos

Griffing (1956) estableció cuatro métodos de apareamiento diseños dialelicos para estimar la aptitud combinatoria general y específica de líneas, las cuales son adecuadas cuando el número de progenitores es reducido, comprende de ensayos

de autofecundaciones que consiste en un grupo de cruzas F1 y las cruzas recíprocas de las F1 para un total de p^2 combinaciones.

- 1) Comprende ensayos de autofecundaciones con un grupo de cruzas F1, sin incluir las cruzas recíprocas para un total del $P(P+1)/2$ combinaciones.
- 2) Ensayos con un grupo de F1 y sus recíprocas, sin incluir las autofecundaciones para tener un total de $P(P-1)/2$ combinaciones

Reyes *et al* (2004), estimaron los parámetros genéticos de la raza de maíz Tuxpeño así como los efectos de ACG y ACE de diez líneas S1 derivadas de tres compuestos varietales. Se hicieron 45 cruzas dialélicas (método IV de Griffing) entre diez líneas cuyos progenitores fueron considerados inicialmente como una muestra aleatoria de líneas S1 mediante los cuales se estimaron parámetros genéticos de población: media genotípica y varianzas genéticas aditiva y de dominancia, en un grupo selecto de diez líneas se estimaron los efectos de ACG y ACE de sus cruzas se evaluaron por rendimiento de mazorca por planta en cinco ambientes del trópico húmedo de México. Donde La varianza genética aditiva resulto cinco veces mayor que la varianza genética de dominancia. Concluyeron que una crusa simple será de alto rendimiento si sus dos líneas progenitoras son de alta ACG o si su efecto de ACE es alto o al menos una de sus líneas es de alta ACG. El máximo rendimiento de una crusa ocurre cuando sus dos líneas son de ACG y su efecto de ACE también es alto, en cambio si las dos líneas son de baja ACG y su efecto de ACE es bajo el rendimiento de la crusa será bajo.

De la Cruz et al (2009) estudiaron ocho poblaciones tropicales de maíz cruzadas en un sistema dialélico. Las poblaciones y sus 28 cruzas fueron evaluadas para rendimiento de grano en dos fechas de siembra. Estimaron los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de las poblaciones y la aptitud combinatoria específica (ACE) de las cruzas los efectos no aditivos fueron el componente principal en la expresión del rendimiento de grano de las poblaciones estudiadas los mayores efectos de ACG se detectaron en las poblaciones 23 y 43, mientras que las cruzas VS536×Pob 32, Pob22×Pob43, Pob25×Pob49 y Pob43×Pob 49 presentaron los mayores efectos de ACE. Las poblaciones con los mayores efectos de ACG pueden incluirse en un programa de mejoramiento para obtener variedades sintéticas. En la heterosis con respecto al progenitor superior, se encontró que sólo las cruzas VS536×Pob32, Pob43×Pob49, Pob25×Pob49 y Pob22×Pob43, sobresalieron con efectos de heterosis de 20 a 41%. Dentro de dichas cruzas sobresale la crusa Pob22×Pob43 con rendimiento de grano de 4955 kg ha⁻¹.

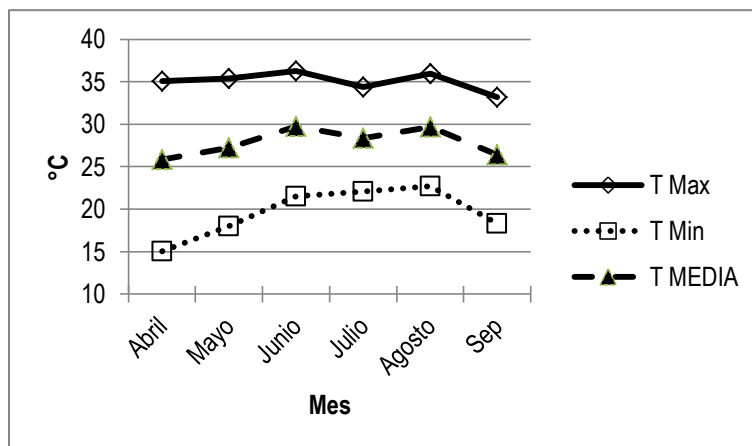
III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización geográfica.

El trabajo se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, (UAAAN-UL) localizado geográficamente en los paralelos 24° 30' y 27° Latitud Norte, y en los meridianos 102° y 104° 40" Longitud Oeste, con 1150 msnm y un clima seco, caluroso, con temperaturas media anual de 20-22°C, precipitaciones escasas, precipitación media anual de 300mm, con régimen de lluvias en los meses de septiembre, octubre y noviembre, los vientos dominantes son alisios en dirección Sur, con velocidades desde 27 a 44km/h (INEGI, 2008).

3.2. Condiciones climáticas de la Comarca Lagunera.

Cuadro 3.1. Medias anuales de temperaturas, unidades calor (UC) y precipitaciones, que se presentó durante la conducción del experimento en año 2011.



* Promedios, + acumulados.

Red Nacional de Estaciones estatales Agroclimáticas: Campo experimental la Laguna.

3.4. Material genético.

Se utilizaron seis líneas endogámicas, tres provenientes del CIMMYT y tres de la UAAAN-UL (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2. Genealogía de material genético utilizado como progenitores (P). 2011.

P	Origen	Pedigree
23	AN77-185 UAAAN-UL	AN77-185-12-5-1
24	CML506 (A) CIMMYT	[92SEW"-77/[DMRESR-W]EarlySel-#I-2-4-B/CML386]-B-11-3-B-2-#-BB-41 505
25	CML508 (A) CIMMYT	([89[G27/TEWTSRPool]#-278-2-XB/[COMPE2/P43SR//COMPE2]F#-20-1-1]-B-32-2-B-4-#-2-BB)-43
26	CML509 (B) CIMMYT	([9SEW1-2/[DMRESR-W]EarlySel-#L-2-1-B/CML386]-B-22-1-B-4-#-1-BB)-44
27	AN82-190 UAAAN-UL	AN82-190-20-2-1
28	AN78-186 UAAAN-UL	AN78-186-18-4-1

() Grupo heterótico (CIMMYT, 2010)

En verano del 2010 se realizaron las cruzas entre las líneas involucradas. El sistema de cruzamiento fue de acuerdo al método-II de cruzas dialélicas propuesto por Griffing (1956) y se generaron $n(n-1)/2$ cruzas posibles, es decir 15 cruzas (Cuadro 3.4)

Cuadro 3.4. Cruzas posibles de seis progenitores, bajo el método II de cruzas dialelicas (Grifing, 1956)

M/H	23	24	25	26	27	28
23	23 x 23	23 x 24	23 x 25	23 x 26	23 x 27	23 x 28
24		24x24	24 x 25	24 x 26	24 x 27	24 x 28
25			25x25	25 x 26	25 x 27	25 x 28
26				26 x 26	26 x 27	26 x 28
27					27 x 27	27 x 28
28						28 x 28

3.5. Evaluación de cruzas.

Las 15 cruzas generadas y sus seis progenitores se evaluaron en dos ambientes en el Campo experimental de la UAAAN-UL en los ciclos primavera y verano del 2011 además se incluyeron cuatro testigos regionales. El diseño fue en alfa látice con 25 tratamientos en tres repeticiones.

La siembra se realizó en seco en forma manual el 08 de abril y el 04 de junio en primavera y verano respectivamente. Se aplicó un riego posterior a la siembra y a los 15 días se realizó un aclareo dejando una planta por golpe.

En ambos ciclos, la parcela experimental por tratamiento fue de dos surcos de 3.5 m de largo y 0.75m de ancho con separación entre plantas de 0.20m, dando por

resultado una parcela útil de 5.25m² y 36 plantas por tratamiento y una población de 66 666 plantas por hectárea.

3.6. Diseño genético.

El análisis para determinar la aptitud combinatoria general y específica del material genético se hizo a partir de los promedios de genotipos a través de localidades y repeticiones, de acuerdo con el método II de efectos fijos del dialélico de Griffing (1956):

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + (\sum \sum e_{ijkl})/4$$

Dónde: Y_{ijk} = valor fenotípico promedio observado de la cruce de las líneas i y j, en el bloque k;

μ = media general;

g_i, g_j = efecto de la aptitud combinatoria general (ACG) del i-ésimo o j-ésimo progenitor; s_{ij} = efecto de la aptitud combinatoria específica (ACE) de la cruce de los progenitores i y j;

e_{ijkl} = efecto ambiental aleatorio correspondiente a la i, j, k, i-ésima observación.

La forma del análisis de varianza del diseño dialélico método II (Griffing, 1956) con efectos fijos se presenta en el Cuadro 3.4.

Cuadro 3.4. Análisis de varianza del diseño dialélico de Griffing (1956) método II de efectos fijos:

Efecto	g.l	CM	ECM
Ambientes(A)	l-1		
Rep/A	r (l-1)		
Cruzas	n-1		
ACG	p-1	M6	$\sigma^2_e + r\sigma^2_{IACE} + r(p-2)\sigma^2_{IACG} + r\sigma^2_{ACE} + r(p-2)\sigma^2_{ACG}$
ACE	$[p(p-3)] / 2$	M5	$\sigma^2_e + r\sigma^2_{IACE} + r\sigma^2_{ACE}$
Cruzas x A	$(n-1)(l-1)$		
ACG x A	$(p-1)(l-1)$	M3	$\sigma^2_e + r\sigma^2_{IACE} + r(p-2)\sigma^2_{IACG}$
ACE x A	$\{[p(p-3)/2](l-1)\}$	M2	$\sigma^2_e + r\sigma^2_{IACE}$
Error	$\{[p(p-1)/2]-1\}(r-1) l$	M1	σ^2_e
Total	$[rp(p-1)/2]-1$		

El análisis estadístico para las variables en el modelo genético se realizó con el macro-SAS de Kang (1994) utilizando el paquete SAS v9.0 (2007), el cual arroja los efectos de ACG y ACE de progenitores y cruzas.

3.10. Determinación de Heterosis

Se determinó el porcentaje de heterosis respecto al progenitor medio (h) y respecto al mejor progenitor (h'), (Robles, 1986).

- a) Respecto al promedio de progenitores (h)

$$\text{Heterosis} = h = \text{MC/PM} \times 100$$

MC= Media de la Cruza

PM= Progenitor medio $P1 + P2/2$

- b) Respecto al mejor Progenitor (h')

$$\text{Heterosis} = h = \text{MC/PS} \times 100$$

MC= Media de la Cruza

PS= Progenitor Superior

3.11 Manejo Agronómico.

Se fertilizo con la fórmula de 180-100-00 aplicando el 50% de Nitrógeno y todo el fosforo al momento de la siembra y el resto del nitrógeno durante las siguientes demás etapas del cultivo; El riego se realizó de acuerdo con las recomendaciones regionales para cultivo de maíz (INIFAP-LAGUNA 2011), procurando mantener un buen nivel de humedad durante el ciclo vegetativo del cultivo.

Para el control de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y larvas de gusano elotero (*Heliothis zea*) se aplicó Lorsban® (Clorpirifos) a razón de 1.0 L/ha. El control de malezas se realizó con la aplicación del herbicida pre-emergente

Primagram Gold ® (atrazina) posterior a la siembra y antes del riego de nacencia a una dosis 4 L/ha.

La cosecha se realizó a cuando el grano mostraba en promedio 18 porciento de humedad.

3.12. Variables cuantificadas.

3.12.1 Días a la floración Masculina (FM) y femenina (FF). Se registró el número de días transcurridos desde la siembra hasta la fecha en la cual el 50% de las plantas de la parcela tienen estigmas de 2-3 cm de largo. También se registraron los días transcurridos hasta que se alcanza el 50% de la emisión de polen.

3.12.2 Altura de la planta (AP). En cinco plantas seleccionadas al azar, se midió mida la distancia desde la base de la planta hasta el punto donde comienza a ramificarse dividirse la espiga.

3.12.3 Altura de mazorca (AMZ). Se registró en cm, desde la superficie del suelo a la altura del entrenudo de la primera mazorca.

3.12.4 Nivel de Clorofila presente en la planta (SPAD). Los datos se tomaron con el equipo MINOLTA 502, (Soil Plant Analysis Development). En campo, se muestrearon tres plantas de maíz tomadas al azar de cada parcela, para determinar el contenido de clorofila en unidades SPAD.

3.12.5 Variables relacionadas con el rendimiento. Variables evaluadas de acuerdo a Manejo de los ensayos e informe de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz. (CIMMYT 1999). Las variables de

rendimiento se evaluaron en la parcela útil al momento de la cosecha (INTA 2001). Se muestrearon 5 plantas para las variables, con excepción del rendimiento en el cual se utilizó el número total de las mazorcas obtenidas en la parcela útil.

3.12.5.1 Longitud de la mazorca (LM). Se midió desde la base del pedúnculo hasta su ápice en cm.

3.12.5.2 Diámetro de la mazorca (DM). La mazorca se cortó por el centro transversalmente y se midió desde la corona de un grano hasta la corona de otro grano en mm.

3.12.5.3 Número de hileras por mazorca (NH). Se contaron en zonas próximas al centro, debido a que es la zona donde se mantiene la orientación embrionaria central de la mazorca.

3.12.5.4 Peso de mil semillas (PMil). Se utilizó la metodología del ISTA (1985). La muestra de granos obtenida de las mazorcas cosechadas en la parcela útil se homogenizaron y se extrajeron 8 réplicas de 100 granos cada una, se pesaron y se determinó el promedio de las ocho réplicas y a continuación esta media se multiplicó por 10, este producto representó el PMil.

3.12.5.5 Rendimiento (RG). Se determinó a través de la producción de grano en cada una de la parcela útil, ésta se pesó y se ajustó al 14% de humedad (humedad final), reflejada en kg ha^{-1} . La fórmula utilizada es la presentada por (Morales 1993): Se consideró el peso total de grano de todas las mazorcas cosechadas por parcela útil, expresada en Kg/Ha y se ajustó al 14% de humedad, empleando la siguiente formula:

$$\text{Kg/Ha} = (\text{PeCa} \times \text{Kd}) \times (100 - \text{Hc}) / 85 \times (10000 / \text{AU})$$

Donde:

PeCa= Peso de campo de las mazorcas cosechadas por parcela útil en Kg/Ha.

Kd= Constante de desgrane para ajustar rendimiento de grano igual a 0.8.

AU= Área de Parcela útil. HC= Humedad de campo u de cosecha.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

4.1.1. Análisis de varianza ciclo primavera

Los cuadrados medios del análisis de varianza para el ciclo de primavera y 11 variables (Cuadro 4.1), los Híbridos fueron significativamente diferentes ($P \leq 0.01$) en las variables AP, AM, LM, GH, RG y PMIL y diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) para las variables de SPAD y HM. Las diferencias que se observan en los híbridos tanto en características morfológicas como aquellas relacionadas con el rendimiento sugieren que dentro de éstos existe material susceptible de ser seleccionado para futuros híbridos. Vergara *et al.* (2001) y Gutiérrez *et al.* (2002) manifiestan que a medida que se incrementa la diversidad genética de los progenitores, se incrementan las diferencias entre sus cruzas tanto en características agronómicas como fisiológicas.

Los efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) fueron significativos ($P \leq 0.01$) en las variables AP, AM, GH, RG y PMIL, en tanto para los efectos de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) fue significativo ($P \leq 0.05$) las hileras por mazorca (HM) y significativo ($P \leq 0.01$) AP, SPAD, LM, GH RG y PMIL. Los efectos de ACG fueron de mayor importancia en cuatro de las once variables (FM, AP, GH y PMIL) y para los efectos de ACE cinco variables (SPAD, DM, LM, HM y RG) fueron más relevantes; en el resto, se observó un equilibrado entre ambos efectos. Por la magnitud de los efectos, existen variables que se pueden explotar a través de selección recurrente (Aditivos) y por hibridación (No aditivos), entre estos se encuentran las variables de mazorca (DM, LM e HM) así como el RG. Beck *et al* (1990), Crossa *et al.*, (1990) y Vasal *et al.*, (1992) en maíz tropical encontraron que los efectos aditivos fueron los más importantes para rendimiento de grano, altura de planta y días a floración.

Los coeficientes de variación estuvieron en el rango aceptable reportado por Falconer (1989). En promedio, los híbridos fueron de ciclo intermedio, de porte medio, con buenas características de mazorca y un excelente rendimiento de grano. Estas características los hacen competir con los híbridos comerciales actuales.

4.1.2. Análisis de varianza ciclo verano.

El análisis de varianza para el ciclo de verano (Cuadro 4.1) muestra la significancia de las 11 variables, las cruzas mostraron diferencias ($P \leq 0.05$) en las variables FM, FF, AP, DM, HM, LM, y diferencias ($P \leq 0.01$) para RG y PMIL. Las

diferencias se atribuyen al origen diverso tanto genético como geográfico de las líneas progenitoras (Estévez *et al.* 1998), aunque Singh y Bains (1968), Gumber and Sohoo (1988), Le-Minh-Hong (1992) señalan que la diversidad geográfica no tiene que estar siempre asociada a la genética, por ello la selección de progenitores para la hibridación no debe fundamentarse solo en las distancias geográficas, sino también en las mediciones de la divergencia genética.

Los cuadrados medios de los efectos como Aptitud Combinatoria General (ACG) fueron significativos ($P \leq 0.05$) en las variables SDPAD, DM y HM, y significativos ($P \leq 0.05$) en las variables RG y PMIL.

Para efectos de Aptitud Combinatoria Especifica (ACE) los cuadrados medios significativos al ($P \leq 0.01$) fueron para las variables de FM, LM, RG y PMIL. En cuanto a las variables de FF, AP y GH fueron significativos ($P \leq 0.05$).

Los efectos de **ACG** o aditivos fueron más importantes para las variables SPAD, DM, HM, GH y PMIL, en tanto que los efectos no aditivos ó de **ACE**, lo fueron las características agronómicas (FM, FF, AP, y AM), LM y RG. Lo anterior sugiere que en el ciclo verano las características (SPAD, DM, HM, GH y PMIL) de los materiales evaluados pueden acentuarse por medio de selección recurrente, en tanto que las agronómicas y el rendimiento por hibridación. Beck *et al.* (1990), Crossa *et al.* (1990) y Vasal *et al.* (1990) en maíces tropicales del Centro Internacional de Mejoramiento de maíz y Trigo (CIMMYT) encontraron que los efectos de mayor importancia fueron los aditivos. Los coeficientes de variación oscilaron entre 4.3% FM a 10.6% de RG respectivamente.

4.1.3. Primavera Vs. Verano

La variación de los híbridos respecto a características agronómicas (FM, FF, AP y AM), se aprecia que en primavera los híbridos fueron poco influenciados, contrarios a verano, donde FM y FF variaron significativamente. Respecto a las características de mazorca, DM y GH no variaron significativamente en primavera y verano respectivamente.

Respecto a los efectos genéticos, en ambos ciclos los efectos no aditivos fueron de mayor relevancia que los aditivos, como se observa en la proporción ACG/ACE.

Cuadro 4.1. Significancia de cuadrados medios de 11 variables en 15 híbridos experimentales derivados de cruza dialélicas de seis progenitores, ciclo primavera-verano. UAAAN-UL. 2011.

FV	Rep.	Hibrido	EE		ACG/		CV (%)	Media ±EE
			ACG	ACE	ACE			
GL	2	20	5	15	40			
FM(días)	14.7	5.7	9.3	4.6	5.4	2.02	3.2	74
FF(días)	78.3	61.2	63.1	60.6	74.2	1.04	11.4	75
AP(cm)	415.6	432.4**	428.9*	433.5**	159.9	0.99	5.3	238
AM(cm)	403.5	309.4**	620.4**	205.7	130	3.02	8.3	137
SPAD	26.1	16.9*	7.8	19.9**	8.6	0.39	7.6	39
DM(mm)	13.3	8.6	2.1	10.8	6.7	0.19	5.4	48
LM(cm)	0.9	3.8**	3.6	3.9**	1.6	0.92	6.7	19
HM	0.5	1.5*	1.5	1.5*	0.7	1	5.9	15
GH	2.5	29.2**	34.5**	27.4**	6.6	1.26	6.3	41
RG(x10 ⁶)	0.13	11.40**	5.39**	13.41**	1.46	0.4	13.8	8767

PMIL	1264.2*	2403.3**	4183.1**	1809.9**	297.1	2.31	5.4	321
	V	E	R	A	N	O		
FM(días)	12.87	55.70*	40.3	60.8**	22.7	0.66	7.5	63
FF(días)	43.53*	32.18*	20.16	36.2*	11.7	0.56	5.1	66
AP(cm)	33.29	383.10*	270.2	420.7*	188	0.64	5.9	232
AM(cm)	491.04	140.7	80.5	160.7	210.3	0.5	10.6	136
SPAD	1.25	13.9	35.8*	6.7	9.4	5.34	7.1	43
DM(mm)	5.76	9.92*	14.2*	8.5	4.9	1.67	4.9	46
HM	0.41	1.47*	1.80*	1.4	0.7	1.34	6.1	14
LM(cm)	3.61	3.50*	0.77	4.4**	1.1	0.17	6.6	17
GH	2.16	5.14	6.4	4.1*	4.4	1.56	10.2	36
RG(x10⁶)	1.16	3.17**	1.87**	3.61**	0.12	0.52	10.4	3345
PMIL	951.5*	2002.3**	3614.2**	1465.0**	197.1	2.47	4.3	319.9

4.1.3.1. Aptitud Combinatoria General ciclo Primavera

Los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) se presentan en la Cuadro 4.2, los valores obtenidos mostraron una estimación del potencial de progenitores para transmitir algunas de sus características a sus descendientes; los mayores efectos positivos y significativos ($P \leq 0.01$) se expresaron en P25 para las variables RG (473.2* kg/ha) y PMIL (15.7g*) aunque con valores negativos para LM (-0.5cm*) y GH(-2.1*); también se observa al P28 con cuatro valores significativos, positivos para AP(5.1), AM(6.7) y LM(0.7), y negativo para rendimiento RG(-824.6**). El P26, solo tres valores negativos y significativos AP, AM y PMIL; el P23 con dos valores, positivo para GH y negativo para PMIL; y con un solo valor los progenitores P24 y P27 para FM(1.1*) y HM(-0.39) respectivamente.

4.1.3.2. Aptitud Combinatoria General ciclo verano

En efectos de aptitud combinatoria general (ACG) se presentan en el cuadro 4.2, el P23 presenta cinco valores significativos ($P < 0.05$ y $P < 0.01$), de los cuales tres son positivos (SPAD, HM y GH) y negativos para DM y PMIL; P24, solo fue significativo para RG con 435.6 Kg/ha. El P25, con cuatro valores significativos ($P < 0.05$ y $P < 0.01$), positivas para RG y PMIL y negativos para SPAD y GH; el P26 mostró tres valores significativos y negativos para AP, RG y PMIL; El P27 con las variables SPAD (1.08), HM (-0.33), RG (-182.9 y PMIL (6.81) y el P28 con cuatro positivos significativos (AP, AM, DM y LM) y el RG negativo significativo. Los valores obtenidos para efectos de ACG mostraron una estimación del potencial de progenitores para transmitir algunas de sus características a sus descendientes. La estimación de los efectos de ACG, muestran que los mayores efectos significativos y positivos para rendimiento de grano (RG) corresponden a los progenitores P24 y P25, por lo que estos resultados indican que ambos progenitores tienen una alta contribución en la expresión del rendimiento en sus progenies, y que los efectos aditivos son los más importantes. De la Cruz *et al.* (2010) encontró resultados similares con poblaciones de maíz tropical.

Cuadro 4.2 Aptitud combinatoria general (ACG) de seis progenitores evaluados en ciclo primavera y verano. UAAAN UL. 2011.

	P		R		I		M		A		V		E		R		A	
P	FM	FF	AP	AM	SPAD	DM	LM	HM	GH	RG	PMIL							
P23	-0.7	-0.3	0.4	-1.1	0.3	-0.3	-0.1	0.3	1.2*	180.6	-21.8**							
P24	1.1*	2.3	1.7	2.2	-0.6	0.1	0	0.3	0.7	400.7	1.6							
P25	0.1	-1.5	-1.1	-1.4	-0.8	-0.1	-0.5*	0.1	-2.1**	473.2*	15.7**							

P26	0.1	1.2	-8**	-8.5**	0.3	0	-0.1	-0.2	-0.4	-98.6	-8.1*
P27	-0.5	0.2	1.4	2.1	0.2	-0.2	0	-0.3*	0.9	-131.3	6.5
P28	-0.1	-1.9	5.1*	6.7**	0.6	0.5	0.7**	-0.2	-0.3	-824.6**	6.1
			V	E	R	A	N	O			
P23	2.13*	0.97	-5.95*	-0.75	0.85	-1.08*	-0.1	0.45*	0.6	20.14	-20.7**
P24	-0.02	1.18	-0.59	-3.06	0.34	0.15	-0.13	1.13	1.1	470.6**	1.15
P25	0.76	-1.15	2.87	1.29	-2.22*	0.03	-0.04	-0.01	-0.9	-124.6	15.2**
P26	-0.4	-0.19	-0.65	0.15	-0.01	-0.48	-0.1	-0.05	-0.4	-276.4**	-5.60*
P27	-1.31	-0.11	1.07	2.25	1.15*	0.15	0.05	0.32*	-0.7*	-234.4**	7.13*
P28	-1.15	-0.69	3.26	0.11	0.57	1.22*	0.33	-0.2	-0.5	144.7*	2.81

4.1.3.3 Efectos de ACG en ciclo primavera y verano

Se observan un mayor número de valores positivos y significativos en el ciclo verano respecto a primavera (9 Vs.7) e igual para los valores negativos. Resaltan los positivos-significativos para rendimiento de grano. Al parecer el ambiente más adverso en verano parece haber influido en la manifestación de los efectos genéticos.

4.1.3.4. Aptitud Combinatoria Específica (ACE)

Respecto a los valores de ACE se observaron ocho de las 15 cruzas con valores positivos y significativos ($P \leq 0.01$ y $P \leq 0.05$) para la variable rendimiento, cuadro 4.3. Aun cuando la ACG de los progenitores solo se detectó significativo para P25 y negativo para P28, al combinarse se observa una respuesta positiva y

significativa en las cruzas con mayor efecto de ACE 23x24, 23x27, 23x28, 24x26, 24x27, 25x28, 26x27 y 27x28.

Respecto a la ACE, era de esperarse que las cruzas con mayor efecto resultaran de cruzar al menos un progenitor con alta ACG (Reyes *et al.*, 2004), como en el caso de la crusa 25x28. Sin embargo, en el presente trabajo se encontró que progenitores con efectos bajos o negativos de ACG produjeron cruzas con alto rendimiento de grano, como 23x24, 23x27, 23x28, 24x26, 24x27, 25x28, 26x27 y 27x28. Resultados similares fueron obtenidas por Guillen-De la Cruz *et al.* (2009) y De la Cruz *et al.* (2010) al cruzar progenitores con ACG negativa y obtener cruzas con valores positivos de ACE. Las cruzas con los mayores valores de ACE pueden considerarse en programas de mejoramiento genético para formar híbridos, y para introducir variación genética en programas de selección recíproca recurrente. Respecto a las características agronómicas, LM y GH son las variables que al parecer se asociaron con rendimiento de grano.

Así mismo se detecta que los progenitores P24, P26, P27 y P28 participan con mayor frecuencia en las mejores cruzas. Lo anterior se puede explicar como una respuesta a las diferencias entre el germoplasma de los progenitores, pues cinco de las ocho son cruzas NARROxCIMMYT, y para el caso de CIMMYTxCIMMYT participan dos líneas pertenecientes a dos grupos heteróticos diferentes como en la crusa 24x26 donde P24 es del grupo "A" y P26 del grupo "B", si se considera que los grupos heteróticos son una medida de la divergencia de los materiales (Reif *et al.* 2005). Al respecto, a medida que la divergencia genética de los

materiales se incrementa, se reduce también la magnitud de las varianzas de ACE y se reduce la proporción ACG/ACE como se observó en el presente trabajo (Reif *et al.* 2005).

Cuadro 4.3. Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de seis progenitores (P) y sus cruzas en 11 variables, en los ciclos primavera-Verano. UAAN-UL. 2011.

	P	R	I	M	A	V	E	R	A		
Cruza	FM	FF	AP	AM	SPAD	DM	LM	HM	GH	RG	PMIL
23x24	-1.3	-2.6	-2.6	-1.9	1	1	0.7	-0.5	0.8	1938**	33.3**
23x25	0.1	1.6	2.6	7.5	-0.3	4.6**	0.5	1.7**	1.7	536	0.8
23x26	0.4	0.1	17.3**	12.6**	-0.4	-0.3	0.5	0	-3.4**	528	39.7**
23x27	-0.7	2.1	10.6	6.2	-2.7	0.4	1.2	-0.2	4.8**	1272*	13
23x28	-0.1	0.6	-3.7	-3.6	-1.6	1.2	0.3	0.2	2.9*	1869**	-8.2
24x25	1	3.9	6.3	-3.1	-3.1	0.7	-0.6	0.2	-1.5	957	8.4
24x26	2.3	2.8	12.9	11.1	1.2	-0.1	0.1	0	0.8	2159**	5.5
24x27	-0.5	-1	10.9	5.5	-1.7	0.7	1.0	1.1*	0.2	2303**	-12.9
24x28	2.1	6.3	4.7	-1	-1.6	-0.7	-0.7**	-0.8	2.2	-1663**	13.4
25x26	0	0.6	-3	-3.6	-4.9**	-0.1	0.8	0.1	0	-461	12.3
25x27	-0.1	0.6	-9.9	-4.5	4.8**	0.5	-0.4	0	-3*	227	4.8
25x28	1.2	-13.2**	8	8.6	0.3	-0.8	1	-0.2	3.3**	2216**	-1.7
26x27	0.2	-1.2	-3.7	-5.5	2.5	-1.1	0.1	-0.6	1	1445*	22*
26x28	-0.9	-0.7	-2	4.6	2.1	-0.2	0.8	0.9	-0.2	1490*	-2.3
27x28	-0.3	2.6	-23**	-12.8*	0.9	-0.8	-0.5	-0.4	3*	-1723**	-32.1**
			V	E	R	A	N	O			
23x24	2.19	-0.94	3.58	0.81	1.52	1.27*	-0.39	3.6	1.34	1303**	28.0**
23x25	0.73	0.38	-8.21	-1.32	1.64	0.49	1.35*	-0.4	0.14	70	2.2
23x26	-6.10*	0.76	5.38	6.03	-0.63	0.61	-0.07	-1.4	0.61	-1105**	37.6**
23x27	1.8	-1.3	8.01	-19.95*	2.46*	1.19*	0.06	-1	0.52	810*	13.94

23x28	2.67	-1.8	1.17	9.14	-2.30*	-1.40*	-0.36	3.3	-0.4	-45	-42.7**
24x25	3.89	-2.15	0.86	-3.35	-0.26	-0.97	0.47	-0.7	1.1	248	4.7
24x26	3.39	0.55	15.48*	6.12	-0.47	-0.16	-0.48	-1.7	1.67	948**	5.9
24x27	-2	0.13	9.32	3.46	1.01	0.86	0.92	0.8	-0.19	-291	-10.0
24x28	-5.49*	3.23	-26.8**	-0.83	-2.09*	-0.96	-0.59	-0.2	-2.36	-1785**	-8.5
25x26	3.6	-1.44	-3.54	1.2	0.97	0.87	0.12	0.5	-0.39	331	11.6
25x27	-5.47*	-4.19*	-8.04	5.43	-2.33*	-0.47	-1.06*	-2.8	1.82	885.**	-0.2
25x28	-5.86*	3.56*	14.35*	1.47	-0.74	1.79*	-0.83*	2.3	-2.03	-501*	-8.7
26x27	-66	-2.48	6.58	3.24	0.99	0.53	-0.49	1.6	0.6	1623**	18.7*
26x28	0.29	-1.3	-8.35	-8.38	0.02	-0.15	-0.49	0.2	-1.07	-555*	-36.3**
27x28	3.71	3.1	-15.20*	6.87	-1.62	-2.27*	0.25	-0.7	-2.58	-2149**	-23.7**

4.1.3.5. Aptitud Combinatoria Específica (ACE)

Respecto a los valores de ACE se observaron cinco de las 15 cruzas con valores positivos y significativos ($P < 0.01$ y $P < 0.05$) para rendimiento de grano (RG). En tres de ellas (23x24, 23x28, 25x28) se asoció con GH y, en una (25x28) se asocia con LM. (Cuadro 4.4)

En tres de las cruzas con mayor ACE (23x24, 24x26 y 25x28) participa un progenitor con ACG alta y positivo y otro con valor bajo ó negativo. También se detectan cruzas donde intervienen dos progenitores con ACG negativa. Antuna *et al.* (2003), De la Cruz *et al.* (2003), Caballero y Cervantes (1990), encuentran que las cruzas con los valores mas altos de ACE, al menos uno tenía altos valores de ACG. De éstos se esperaría que también presentaran altos rendimientos de grano.

De esta manera se detecta que los padres más frecuentes en las mejores cruzas, fueron el 23 seguido de 26, 27 y 28. Así mismo, estas cruzas fueron de mayor

producción en rendimiento, lo anterior se explica a que participan progenitores con germoplasmas muy diferentes, como las cruzas NARRO x CIMMYT.

4.1.3.6. Efectos de aptitud combinatoria específica primavera Vs. verano.

Contrario a lo que se observó en ACG, en verano se observaron menos valores significativos que en primavera, incluso respecto a los observados en rendimiento de grano, primavera supera a verano con casi el doble (9 Vs. 5), lo que se puede deber a una fuerte interacción del genotipo (cruzas) con el ambiente. Coinciden en ambos ciclos las cruzas 23x24, 23x27, 24x26 y 26x27 con valores significativos, cuadro 4.4.

4.1.4. Rendimiento y características agronómicas

4.1.4.1. Progenitores

4.1.4.1.1. Primavera. Los valores medios de características agronómicas y rendimiento de grano se muestran en el cuadro 4.5. De los progenitores (P), el P25(CML-508) presentó significativamente el mayor rendimiento, estadísticamente igual ($P \leq 0.05$) a P27 (AN-82-190 y P24 (CML-506). El P26 presentó el menor rendimiento y a la vez el de mayor intervalo de floración, (73 a 77), de porte mas bajo y el segundo con menor peso de mil semillas (PMIL).

4.1.4.1.2. Verano. En promedio el rendimiento de grano de los progenitores fue de 2613 kg/ha. Los progenitores 24 y 28 significativamente fueron los de mayor rendimiento con 3863 y 3848 kg/ha. El resto se ubicó por debajo de la media(2613 kg/ha), cuadro 4.5. Estadísticamente fueron semejantes en floración masculina y femenina; La altura promedio fue de 228.7 cm, donde los dos progenitores con mayor rendimiento fueron igual (P24) y superior a la media (P28) y, el de menor altura el P23. La AM, osciló de 123 a 141cm, donde los dos progenitores con mayor RG presentaron 123 y 129 cm respectivamente. Respecto a las características de mazorca, el mayor DM se presentó en el P28 con 49 mm estadísticamente superior al resto; en LM e HM fueron iguales ($P<0.05$) no así para GH, donde el P27 fue superior ($P<0.05$) pero igual a P24 y P28. El PMIL semillas osciló de 271 para el P26 a 340 del P25; P25 fue igual a P28, P23 y P27.

4.1.4.1.3. Primavera Vs. Verano. Es de resaltar las diferencias en la magnitud promedio que exhibieron los progenitores en ambos ciclos. El rendimiento de grano en promedio en verano fue menos del 50 por ciento del que se observó en primavera.

En verano los progenitores fueron más precoces, de menor altura de planta y mazorca; mayor dimensión de mazorca, en términos de diámetro, longitud y granos por hilera y mayor magnitud respecto a la densidad de grano.

Comparativamente las unidades SPAD, fueron de menor magnitud en primavera que en verano, lo cual se puede deber a la respuesta de las plantas a las altas temperaturas que se observan en el ciclo verano (Cuadro 4.5).

Cuadro 4.5. Valores medios de 11 variables en seis progenitores (P) en los ciclos primavera y verano. UAAAN-UL 2011.

	P		R	I	M	A	V	E	R	A	
P	FM	FF	AP	AM	SPAD	DM	LH	HM	GH	RG	PMIL
23	73	73	227	124	41.0	44	17	15	40	6057	238
24	74	75	225	136	39.3	48	17	15	41	6721	301
25	73	75	234	131	38.6	46	17	14	36	7976	341
26	73	77	212	110	39.0	49	17	14	41	5989	267
27	73	74	248	146	37.2	48	18	14	40	6742	337
28	72	73	256	152	39.7	50	19	15	35	6023	349
Media	73	75	234	133	39.1	48	18	15	39	6585	305.5
	V		E	R	A	N	O				
24	61	67	228	123	40	46	16	14	43	3863	301
28	66	68	244	129	45	49	17	14	42	3848	332
23	66	71	210	140	42	40	14	14	37	2353	239
25	68	67	242	138	37	46	16	14	40	2062	340
27	65	70	233	141	45	45	16	13	44	1998	335
26	64	69	215	128	41	43	16	14	38	1551	271
Media	65	69	229	133	41.7	45	16	14	41	2613	303

4.1.4.2 Cruzas

4.1.4.2.1. Ciclo Primavera

Dentro de las cruzas, el máximo RG se observó en 24x27 11,340 Kg/ha, estadísticamente igual ($P \leq 0.05$) a ocho cruzas mas. Dentro de éstas, sobresalen 23x24 24x26, 25x28, 24x25 y 23x27 con RG de 11287 a 10089 Kg/ha. Estas cruzas también presentan mayor intervalo de floración (3 a 5 días), fueron de mayor altura promedio (245 a 250 cm) y, con excepción de 23x24 quien fue más precoz, con menor intervalo de floración y de porte bajo, cuadro 4.6.

Respecto a las características de mazorca, con excepción de la cruz 24x26, estas cruzas también mostraron los mayores valores de DM (52.4 a 48.9 mm), con una dimensión de LM de corta a media (17.8 a 19.9 cm), con una fluctuación de 14 a 17 hileras por mazorca (HM); para granos por hilera (GH), se observó que las ocho cruzas fueron diferentes ($P < 0.05$) pues oscilaron de 38 a 48 GH y lo mismo se observa para PMIL con valores tanto inferiores como superiores a la media (328) para las cruzas con mayor rendimiento de grano. Esta variabilidad se puede atribuir a la divergencia genética que presentan los progenitores, pues ésta es una de las condiciones para la selección de progenitores en los programas de mejoramiento genético, además de la adaptación, el alto potencial de rendimiento, resistencia a enfermedades y calidad (Estévez *et al.* 1994).

4.1.2.2. Ciclo verano

El mayor rendimiento de grano (RG) se observó en la cruz **23x24** con 5139 kg/ha y superior ($P < 0.5$) al resto. Agronómicamente es una cruz de ciclo intermedio con 67 días a FM y FF, de porte medio (229 cm) y de AM aceptable (133cm) y, con dimensiones de mazorca iguales al promedio. También sobresalen en rendimiento

de grano las cruzas 23x28, 24x26 y 26x27. Con excepción de la cruz 26x27 que fue la más precoz, las dos restantes fueron semejantes en características agronómicas entre sí y con la cruz 23x24. El resto de las cruzas fueron significativamente inferiores a las cuatro cruzas anteriores, cuadro 4.6.

Cuadro 4.6. Valores medios de 11 variables en 15 cruzas evaluadas en los ciclos primavera y verano. UAAAN-UL 2011.

Cruzas	P R I M A V E R A										
	FM	FF	AP	AM	SPAD	DM	LH	HM	GH	RG	PMIL
23x24	73	74	237	136	39.2	49	20	15	44	11287	334
23x25	73	75	240	142	37.8	52	19	17	42	9957	316
23x26	73	76	248	140	38.7	48	19	15	38	9378	331
23x27	72	77	250	144	36.4	49	20	14	48	10089	319
23x28	73	73	240	139	37.8	50	20	15	35	9993	298
24x25	76	80	245	134	34	49	18	15	38	10598	347
24x26	77	81	245	141	39.4	48	19	15	42	11229	320
24x27	74	77	252	146	36.5	49	20	16	43	11340	317
24x28	77	82	249	144	36.9	48	21	14	43	6681	343
25x26	74	75	226	123	33.2	48	19	15	38	8681	341
25x27	73	74	228	133	42.8	49	18	14	37	9337	348
25x28	75	58	250	151	38.6	48	20	14	42	10632	342
26x27	73	75	228	125	41.6	47	19	14	42	9983	342
26x28	73	74	233	139	41.6	49	20	15	40	9335	317
27x28	73	76	221	133	40.2	48	19	14	44	6089	302
Media	74	75	239	138	38	49	19	15	41	9641	328

DMS 5%	3.1	12	17	16	4	3.5	1	1.7	3.6	1600	23.7
Cruza			V	E	R	A	N	O			
23x24	67	67	229	133	44	46	17	14	39	5139	328
23x28	68	67	240	139	46	46	17	14	37	4497	298
24x26	66	67	246	139	44	44	16	13	36	4487	321
26x27	59	63	239	141	44	46	17	13	38	4457	340
23x27	65	66	235	117	45	47	17	14	40	3940	320
24x25	64	68	235	131	41	45	15	14	36	3939	340
26x28	60	60	242	136	43	47	16	14	39	3899	318
25x28	54	64	248	136	39	45	18	13	40	3898	338
25x27	57	60	228	145	43	43	16	12	40	3871	341
23x25	67	66	221	135	41	46	16	16	35	3310	316
24x27	60	67	242	138	43	46	17	14	35	3290	318
25x26	63	67	231	138	40	46	15	14	38	3274	341
24x28	58	70	210	138	42	44	15	13	40	2598	335
23x26	59	67	231	141	44	43	16	14	37	1983	331
27x28	60	63	222	144	42	45	14	13	36	1983	304
Media	61.8	65	233	137	43	45	16	14	38	3638	326
DMS 5%	6.6	4.7	18.9	19.9	3.0	1.2	1.4	4.2	1.5	481.2	19.3

4.1.2.3. Ciclo primavera Vs. Verano

A nivel de cruzas se observa la misma tendencia que en los progenitores. El rendimiento de grano en primavera fue 2.7 veces el de verano. Respecto a las características agronómicas, las cruzas en verano fueron más precoces que en primavera, de menor altura de planta y mazorca y, la mazorca de menor dimensión (DM, LM, NH y GH).

4.1.3. Análisis de Varianza de Dialélico combinado

El ciclo (Primavera-Verano) afectó significativamente ($P < 0.01$ y 0.05) al rendimiento de grano, sus componentes y a la floración. Los efectos de ACE,

fueron más importantes para rendimiento de grano, diámetro y longitud de mazorca y floración masculina; el resto para ACG. cuadro 4.7.

En cuanto a la relación ACG/ACE los efectos aditivos y no aditivos fueron de similar importancia, donde el rendimiento fue de naturaleza no aditiva. Lo anterior implica que en estos materiales se pueden utilizar tanto la selección para los de naturaleza aditiva y la hibridación para los de acción génica no aditiva, como el rendimiento de grano.

Cuadro 4.7. Significancia de cuadrados medios de 11 variables en 15 híbridos experimentales derivados de seis progenitores en dos ambientes de la Comarca Lagunera. UAAAN-UL 2011.

FV	Amb(A)	Rep/A	Cruzas(C)	ACG	ACE	AxC	ACGxA	ACExA	Error			
GL	1	4	20	5	15	20	5	15	80	CV	Media	ACG/ACE
FM	3260.96**	13.77	27.58*	21.3	29.67*	33.82*	28.28	5.67*	14.0	5.4	68.5	0.72
FF	2488.8**	60.92	57.95	66.49	54.44	35.93	16.81	42.31	42.92	9.3	70.6	1.22
AP	899.2*	224.42	595.95**	428.54*	651.76**	219.56	270.61	202.54	173.95	5.6	235.1	0.66
AM	5.1	447.26*	211.02	333.6	170.16	239.04	367.4	196.25	170.2	9.6	136.4	1.96
DM	242.75**	9.54	14.09*	12.84	14.51*	4.45	3.5	4.76	5.86	5.2	46.9	0.88
LM	161.65**	2.24	5.17**	3.47*	5.74**	2.12	0.85	2.54*	1.38	6.6	17.7	0.60
NH	6.22*	0.47	2.60**	3.19*	2.41**	0.36	0.16	0.43	0.75	6.3	14.42	1.32
GH	116.92**	90.21	35.59**	42.2**	33.37**	20.52*	13.24	22.95*	8.42	7.4	38.9	1.26
SPAD	152.1**	6.11	20.18*	41.4**	13.11	8.03	12.95	6.39	9.8	7.1	44.0	3.16
RG(x10 ⁻⁶)	945.98**	0.23	11.14**	3.53**	13.68**	3.03**	2.93*	3.07**	0.82	14.9	6085	0.26
PMIL(x10 ⁻⁶)	82.08	1107.8*	4373.3**	7750.7**	3247.5**	32.2	46.50	27.45	247.1	4.9	320.58	2.39

*, ** Valores significativos al 0.05 y 0.01 de probabilidad. GL= grados de libertad, FM= Floración Femenina, FF= Floración Femenina, AP= Altura de Planta, AM= Altura de Mazorca, DM= Diámetro de Mazorca, LM= Longitud de mazorca, NH= Numero de Hileras por mazorca, GM= Granos por Hilera, SPAD= Clorofila, RG= Rendimiento de grano, PMIL= Peso de mil Semillas.

4.1.3.1 Efectos de Aptitud Combinatoria General y Específica

Los efectos de **ACG** estimados para los progenitores, muestra que los mayores efectos de ACG significativos y positivos de las variables evaluadas se observaron para altura de planta (AP) y mazorca (AM) en el P28; en unidades SPAD para los progenitores P23 y P27; las variables DM y LM sobresalen en el P28, así como para el P23 las variables de mazorca HM y GH; para peso de mil semillas (PMIL) resaltan en los progenitores P25 y P27 y, para rendimiento de grano (RG) solo el P24 con 435.6 kg ha⁻¹, (Cuadro 4.8).

Para los efectos de **ACE**, la craza 23x24 fue la de mayor efecto positivo y significativo con 1620.7 kg ha⁻¹, seguida de las cruza 24x26, 26x27, 23x28 y 25x28 con 1553.7, 1533.9, 1428.5 y 1374.4 kg ha⁻¹ respectivamente, (Cuadro 4.8). De los seis progenitores que intervienen en las cuatro cruza con los mayores efectos de ACE, solo el progenitor P24 tuvo efectos positivos de ACG para rendimiento de grano.

Respecto a las características agronómicas, para floración masculina y femenina no se encontraron efectos significativos de ACE, con excepción de la craza 25x28 (-6.75*). Para altura de planta se detectaron cuatro valores positivos y tres negativos ambos significativos, en contraste con altura de mazorca donde solo se detectó un valor significativo (9.3*). En altura de planta, las cruza con efectos significativos positivos intervienen los progenitores P23 y P24, ambos cruzados con los progenitores P26 y P27, donde la combinación 24x26 también sobresale en rendimiento. En los efectos negativos significativos, intervienen en las tres

cruzas P27 y P28 cruzadas con P24 y P25, y se asocian con bajo rendimiento. Para el contenido de clorofila en unidades SPAD, solo un valor negativo significativo por lo que esta variable no tuvo una contribución positiva. Para diámetro y longitud de mazorca, se detectaron dos efectos positivos significativos en la crusa 23x27 con poca ó nula contribución para rendimiento de grano. En las cruzas 23x25 y 25x28, se observó en cada una un valor significativo (3.11mm y 1.39 cm) para diámetro y longitud de mazorca. Resalta la crusa 25x28 donde la longitud al parecer contribuyó significativamente al rendimiento con 1.39 cm, lo que coincide con lo reportado por **Ávila et al.** (2009). Respecto a número de hileras por mazorca, se detectaron dos valores significativos positivos (23x25 y 24x27) y uno negativo (24x28), este último con efectos negativos en el rendimiento de grano. El numero de granos por hilera (GH), fue positivo y significativo en las cruzas 23x24, 23x28 y 25x28, los cuales también presentaron efectos significativos positivos para rendimiento de grano (RG); Wong *et al.* (2007) con otro grupo de líneas encontró un efecto similar. Para peso de mil granos (PMIL), se observaron cinco valores significativos positivos (23x24, 23x26, 23x27, 24x28 y 25x26) y un negativo (24x27). Solo en la crusa 23x24, esta variable contribuyó al RG, combinado quizás con el GH y los valores positivos observados para DM y LM; en la crusa 23x26, a pesar de tener el mayor valor de ACE para PMIL (38.65), esto no se reflejó en el efecto **RG**, quizás debido a que todos los valores de mazorca DM, LM, HM y GH fueron negativos.

Cuadro 4.8. Efectos de ACG y ACE en seis progenitores (P) y sus cruzas en 11 variables en dos ambientes de la Comarca Lagunera. UAAAN-UL 2011.

P	FM	FF	AP	AM	SPAD	DM	LM	HM	GH	RG	PMIL
23	0.72	0.29	-2.75	-0.90	0.87*	-0.69*	-0.11	0.37**	1.32**	100.4	-21.2**
24	0.54	1.75	0.53	-0.44	-0.15	0.14	-0.04	0.20	-0.04	435.6**	1.39
25	0.41	1.33	0.90	-0.03	-1.49**	-0.04	-0.27	0.03	-1.47**	174.2*	15.45**
26	-0.16	0.52	-4.11*	-4.17	0.007	-0.25	-0.11	-0.09	-0.45	-187.5*	-6.85**
27	-0.89	0.08	1.25	2.17	1.08*	-0.02	0.04	-0.33**	0.45	-182.9*	6.81*
28	-0.62	-1.31	4.17*	3.39*	-0.31	0.87*	0.50*	-0.17	0.19	-339.9**	4.47
Cruzas	FM	FF	AP	AM	SPAD	DM	LM	NH	GH	RG	PMIL
23 x 24	0.44	-1.77	0.50	-0.52	1.72	1.27	1.00	-0.46	2.88*	1620.70**	30.69**
23 x 25	0.40	0.97	-2.79	3.07	1.19	3.11*	0.50	1.50**	1.25	302.96	1.49
23 x 26	-2.84	0.44	11.31*	9.30*	-0.19	-0.43	0.54	-0.02	-1.66	-288.58	38.65**
23 x 27	0.54	0.38	9.30*	-6.85	-0.24	1.93*	1.19*	-0.06	3.31	1040.85	13.44*
23 x 28	1.94	-2.05	3.69	0.13	0.82	0.79	0.55	0.18	2.44*	1428.45*	-5.85
24 x 25	2.42	0.84	3.57	-3.22	0.81	0.22	-0.77	0.34	-2.10	602.47	6.55
24 x 26	2.83	1.65	14.20*	8.62	0.93	-0.29	-0.01	-0.22	-0.93	1553.70**	5.72
24 x 27	-1.26	-0.40	10.12*	4.49	-1.58	0.85	0.94	1.00**	0.85	1005.95	-11.46*
24 x 28	-0.70	2.15	-9.93*	2.17	0.98	-1.54	0.36	-0.71*	-1.48	-1512.48**	12.56*
25 x 26	1.79	-0.42	-3.29	-1.20	0.90	0.46	-0.02	0.11	-0.66	-65.25	11.96*
25 x 27	-2.80	-1.82	-8.97*	0.48	1.76	-0.90	-0.45	-0.52	-2.41*	556.52	2.27
25 x 28	-3.91	-6.75*	8.88	3.82	-2.85*	-1.13	1.39*	-0.47	3.15*	1374.38*	-0.34
26 x 27	-1.22	-1.84	1.45	-1.13	0.06	-0.06	0.29	-0.52	1.36	1533.99**	20.34**
26 x 28	-0.99	-2.94	2.60	2.22	0.47	0.37	0.28	0.45	1.33	1088.28	-0.52
27 x 28	-0.59	0.49	-18.91**	-3.44	-0.41	-0.96	-1.47*	-0.24	-0.41	-1497.27*	-28.49**

*, ** Valores significativos al 0.05 y 0.01 de probabilidad diferentes de cero; GL= grados de libertad, FM= Floración Femenina, FF= Floración Femenina, AP= Altura de Planta, AM= Altura de Mazorca, DM= Diámetro de Mazorca, LM= Longitud de mazorca, NH= Numero de Hileras por mazorca, GH= Granos de Hileras por Mazorca, SPAD= Clorofila, RG= Rendimiento, PMIL= Peso de mil Semillas.

4.1.4. Heterosis

La expresión de heterosis respecto al progenitor medio (h) fue menor al 20% en nueve de las once variables, en tanto que para peso de mil semillas (PMIL) y rendimiento de grano (RG) la mayoría de las cruzas expresan valores mayores a 20% (**Tabla 6**). Al respecto, en fitomejoramiento, se considera que el nivel deseable para el aprovechamiento de la heterosis en una craza, es de cuando menos el 20% (De la Cruz *et al.* 2003). Para PMIL las cruzas 23x24 y 23x26 registran 22.8 y 30.8% de heterosis, el resto fue menor al 20%. Para RG, excepto dos cruzas que presentan valores negativos, el resto muestra valores oscilaron de 40.7 a 77.4 por ciento (25x27 y 26x27). Siete de las 15 cruzas muestran valores superiores al 50%. En la craza 26x27 donde se observó la mayor expresión heterótica participan dos progenitores de origen diferente, el progenitor P26 (CML-509) proviene del CIMMYT y el 27 (AN-82-190) de la UAAAN-UL. Se observa lo mismo en las craza 23x24, 26x28 y 24x27, donde participan de manera alternativa las líneas CML-506 y 509 con las líneas AN-77-185, AN-78-186 y AN-182-190. Otro grupo de cruzas donde participan líneas del mismo origen, 26x27 (CML-506 x CML-509), 23x27 (AN-77-185 x AN-82-190), 23x28 (AN-77-185 x AN-78-186).

Cuadro 4.9. Heterosis media para rendimiento de grano y características agronómicas de 15 cruza directas evaluadas en los ciclos primavera y verano en la UAAAN-UL, 2011. Torreón, Coah

Cruza	FM (d)	FF (d)	AP (cm)	AM (cm)	SPAD	DM (mm)	LM (cm)	HM	GH	PMIL (g)	RG Kg ha⁻¹
23x24	2.94	-2.10	4.95	2.68	6.98	6.82	16.13	0.00	13.16	22.82	72.98
23x25	0.72	-2.10	0.88	3.76	4.76	12.64	9.68	14.29	9.59	9.34	43.84
23x26	-3.65	-2.07	10.90	11.55	2.33	2.27	16.13	0.00	1.33	30.83	42.46
23x27	-1.45	-1.39	5.45	-5.80	0.00	9.09	12.50	3.70	17.33	11.15	63.61
23x28	1.45	-2.10	2.56	2.21	2.27	3.30	9.09	0.00	15.07	2.77	58.55
24x25	3.65	0.00	3.45	0.38	4.88	3.30	0.00	7.14	-6.67	7.02	40.98
24x26	5.19	2.78	11.62	12.90	4.76	0.00	6.25	0.00	-3.90	12.48	73.43
24x27	-2.94	0.70	5.78	4.03	-2.27	2.17	9.09	11.11	3.90	-0.47	51.42
24x28	-1.47	7.04	-3.78	4.83	2.33	-3.16	5.88	-7.14	-1.33	5.77	-9.28
25x26	1.45	-4.17	1.11	3.56	4.88	3.30	6.25	0.00	-2.70	12.17	36.01
25x27	-6.47	-6.29	-4.80	0.00	4.65	-1.10	3.03	-3.70	-5.41	2.07	40.68
25x28	-6.47	0.00	2.05	4.38	-7.14	-2.13	11.76	-7.14	11.11	0.00	45.97
26x27	-3.65	-4.83	2.64	1.14	2.27	0.00	3.03	-3.70	5.26	12.58	77.37
26x28	-3.65	-8.33	2.38	5.79	2.33	-1.05	5.88	0.00	8.11	4.28	52.03
27x28	-4.35	-3.50	-9.98	-2.82	-4.44	-3.16	-8.57	-3.70	5.41	-10.36	-13.25

VI. CONCLUSIONES

El ciclo (Primavera-Verano) afectó significativamente ($P < 0.01$ y 0.05) al rendimiento de grano, sus componentes y a la floración. Los efectos de ACE, fueron más importantes para rendimiento de grano, diámetro y longitud de mazorca y floración masculina; el resto para ACG. El mayor efecto de ACG para rendimiento de grano (RG) se observó en el P24 (435 t ha^{-1}) y para ACE, la cruza 23x24 mostró el mayor efecto positivo y significativo ($1620.7 \text{ Kg ha}^{-1}$) seguido de cuatro cruzas más, además fue la de mayor rendimiento de grano.

La heterosis promedio fue mayor al 20% solo para peso de mil semillas (PMIL) y RG. En Rendimiento de grano (RG) el mayor porcentaje de heterosis fue para la cruza 26x27.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Allard R W (1980) Principio de la mejora genética de las plantas. EOSA. España. 498 p.
- Antuna G O, F R Sánchez, E G del Río, N A R Torres, L B García (2003) Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. Rev. Fitotec. Mex. 26(1): 11-17.
- Aragón C F, Espinoza P (2008) Conservación, mejoramiento y producción de semilla de maíces criollos. Publicación especial No. 3. INIFAP- Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Oaxaca, México. 74 p.
- Allard R W (1980) Principio de la mejora genética de las plantas. EOSA. España. 498 p.
- Beck D L, S K Vasal, J Crossa (1990) Heterosis and combining ability of CIMMYT'S tropical early and intermediate maturing maize (*Zea mays* L.) germplasm. *Maydica* 35: 279-285.
- Brauer, H. O. (1981). *Fitotecnia aplicada*. ELSA. México. 518 p.
- Caballero H F, Cervantes S (1990) Estudio genético y taxonómico de poblaciones de maíz de raza tuxpeño. *Agrociencia serie Fitociencia* 1(2): 43-64.
- Crossa J S K, Vasal D L, Beck (1990) Combining ability estimates of CIMMYT'S tropical late yellow maize germoplasm. *Maydica* 35: 273-278.
- Crossa, I H, Gauch and R Zobel (1990) Additive main effect and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Sci.* 30:493-500.
- 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 planta I*. editorial Trillas. México, 167 p.
- Cordova H S y Vasal S K (1996) Estrategias en el desarrollo y mejoramiento del germoplasma de maíz orientado a la agricultura sustentable. UAAAN. Buenavista Saltillo Coah. 99-123 p.
- Chávez A J L (1995) *mejoramiento de plantas II*. Trillas. Primera impresión. Mexico. Pp.88, 115-118.

- Crossa I H Gauch and R. Zobel (1990) Additive main effect and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Sci.* 30:493-500.
- De la Cruz L, J R Parra, J L R Díaz, J J S González, M M M Rivera, M C Bonaparte, S A H de la Peña, S M Mungía (2003) Aptitud combinatoria entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 26 (1): 1-10.
- De la Cruz L E, Rodríguez H S A et al, (2005) Análisis Dialélico de líneas de maíz QPM para características forrajeras. *UCIENCIA* 21: 19-26.
- De la Cruz L E, G Castañón N, N P Brito M, A Gómez V, V Robledo T, A J Lozano R (2010) Heterosis y aptitud combinatoria de poblaciones de maíz tropical. *Phyton.* 79(1): 11-17.
- De la Loma J L (1954). *Genética general Aplicada*. Segunda edición, Editorial UTHEA. México. 427.
- Esquivel Esquivel G, Castillo González F, Hernández Casillas JM, Santacruz Varela A, García de los Santos G, Acosta Gallegos JA, Ramírez Hernández A. Aptitud Combinatoria y Heterosis en Etapas Tempranas del desarrollo del Maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* (2009), 32: 311-318.
- Estévez A, M E González, E Simón (1994) *Cultivos tropicales* 15(1): 73-78.
- Falconer D S (1989) *Introduction to quantitative genetics*. Third Ed. Longman, Londres. New York. 438 p.
- Gómez N M y R Valdivia B (1988) Dialelico integrado con líneas de diferentes programas de Maíz para la región cálida. *Fitotecnia Mexicana* 11:103-120.
- Grafius J W (1959) Heterosis in barley. *Agron. Jour.* 51: 551-554
- Gauch H and R Zobel (1988) Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 79:753-761.
- Griffig B (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. Jour. Biol. Sci.* 9: 463-493.
- Gauch H and R Zobel (1996) AMMI analysis of yield trials. In: M.S. Kang y H.G. Gauch. (eds.). *Genotype-by-Environment interaction*. CRC Press, Boca Ratón. pp. 85-122.

- Griffing B (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- Gomez N M y R Valdivia B (1988) Dialelico integrado con líneas de diferentes programas de Maíz para la región calida. *Fitotecnia Mexicana* 11:103-120.
- Gumber RK, Sohoo MS (1988) Genetic variation in Persian clover *trifolium-resupinatum*. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 58, 58-59.
- Hayman, B I (1954) The theory end analysis of diallel crosses. *Genetics* 39: 789 809.
- Hallauer A R and Miranda F J B (1981) *Quantitative genetics in maize breeding*. Iowa State University Press. Ames, Iowa. USA.
- Jugenheimer R W (1988) *Maíz, variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas*. México, Limusa. 481 p.
- Jugenheimer W R (1990) *Maíz*. ELSA. México. 841 p.
- Kato T A et al (2009) *Origen y Diversificación del Maíz: una revisión analítica*. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 116p.
- Kempton R A (1984) The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *Journal of Agricultural Sciences* 103:123-135.
- Montenegro T H, Rincón S F, Ruiz T NA, De León C H, Castañón N G (2002) Potencial genético y aptitud combinatoria de germoplasma de maíz tropical. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 25:135-142.
- Márquez S F (1998) *Genotecnia Vegetal*. Tomo II AGTESA. Mexico. 563 p.
- Martínez G A (1983). *Diseños y Análisis de Experimentos de Cruzas Dialelicas*. Centro de Estadística y Cálculo. C.P, México, 125p.
- Poehlman J M (1979) *Mejoramiento genético de las cosechas*. México, Limusa. 206 p.
- Le-Minh-Hong (1992) *Selección de progenitoras para el mejoramiento genético de tomate, en siembras fuera de época óptima* Tesis Doctorado en Ciencias Agrícolas. INCA.
- Poehlman J M and D A Sleper (1995) *Breeding Field Crops*. 4th ed. Iowa State University Press, Ames, Iowa, p. 473.

- Paliwail R L, G Granados, H Renné, A D Violic (2001) El Maiz en los Trópicos. Mejoramiento y Producción. Organización de las naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 2011.Pp 1-60.
- Reif J C, A R Hallauer, A E Melchinger (2005) Heterosis and heterotic patterns in maize *Maydica* 50: 215-223
- Reyes L D, Molina G J D, et al (2004). Cruzas dialelicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza Tuxpeño. *Fitotecnia Mexicana*. 27: 49-56.
- Rojas B A and G F Sprague (1952) A comparison of variance components in corn yield trials III. General and specific combining ability and their interactions with locations and years. *Agron. Jour.* 44: 462-466.
- Singh R B y S S Bains (1968) Genetic divergence highing out yield and its components in Upland cotton (*G. hirsutum* L.) varieties obtained from different geographic locations. *Indian J. Genet.* 28: 262-282.
- Sprague G F and L A Tatum. 1942. General vs Specific combining ability in single Crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34:923-932
- Vasal K S, G Srinivasan, S Pandey, H S Cordova, G C Han, F C González (1992) Heterotic patterns of nine-two white tropical CIMMYT maize lines. *Maydica* 37: 259-270.
- Zobel, R, M Wriht and H. Gauch (1988) Statistical analysis of a yield trial. *Agron J.* 80:388-393.