

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**APTITUD COMBINATORIA Y PARÁMETROS GENÉTICOS EN  
LÍNEAS Y CRUZAS DE MAÍZ EN RIEGO-SEQUÍA**

**POR:**

**SERGIO ALEJANDRO ZAPATA ADAME**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER  
EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.**

**ENERO DE 2015**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

APTITUD COMBINATORIA Y PARÁMETROS GENÉTICOS EN LÍNEAS Y  
CRUZAS DE MAÍZ EN RIEGO-SEQUÍA

POR  
SERGIO ALEJANDRO ZAPATA ADAME

TESIS

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR

ASESOR PRINCIPAL:

  
DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

ASESOR:

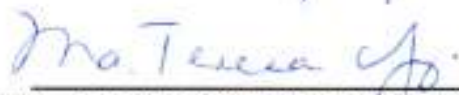
  
DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA

ASESOR:

  
M.C. JOSE LUIS COYAC RODRIGUEZ

ASESOR:

  
ING. ENRIQUE LEOPOLDO HERNÁNDEZ TORRES

  
DRA. MA. TERESA VALDES PEREZGASGA  
COORDINADORA INTERINA DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS  
AGRONÓMICAS



TORREÓN, COAHUILA

ENERO DE 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

APTITUD COMBINATORIA Y PARÁMETROS GENÉTICOS EN LÍNEAS Y  
CRUZAS DE MAÍZ EN RIEGO-SEQUIA


POR  
SERGIO ALEJANDRO ZAPATA ADAME  
TESIS

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR

PRESIDENTE:

  
DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

VOCAL:


  
DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA

VOCAL:

  
M.C. JOSÉ LUIS COYAC RODRÍGUEZ

VOCAL SUPLENTE:

  
ING. ENRIQUE LEÓPOLDO HERNÁNDEZ TORRES

  
DRA. MA TERESA VALDÉS PEREZGASGA  
COORDINADORA INTERINA DE LA DIVISIÓN DE  
CARRERA AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA

ENERO DE 2015

## DEDICATORIA

### **A mis Padres:**

José Santos Zapata Chávez y María Trinidad Adame Zamudio por darme todo su apoyo, cariño y confianza para continuar con mis estudios y superarme no solo en lo académico sino como persona mejorar día a día al seguir sus sabios consejos y acompañarme en cada uno de mis logros obtenidos a lo largo de mi vida, guiándome de la mejor manera para forjar en mi un hombre de bien y con una mayor preparación para afrontar nuevos retos y cumplir mis objetivos, muchas gracias.

### **A mis hermanos:**

José Antonio, Jesús Gerardo, Sergio Alfredo, Rosa Elva y José Santos por todo el apoyo brindado para que pudiera culminar esta etapa académica, gracias a su motivación brindada, por estar acompañándome y aconsejándome para conseguir un mayor aprendizaje y darme fuerza para afrontar cambios y conseguir mis metas y objetivos, muchas gracias hermanos.

### **A mi novia:**

Lisbed Salgado Rodríguez por apoyarme en estos maravillosos cuatro años y medio, por estar conmigo en los momentos buenos y malos brindándome siempre su apoyo, compañía, cariño y amor, desde el momento en que la conocí mi vida dio un giro para bien y mi visión se hizo aún más grande y las ganas de realizarme crecieron aún más y se creó en mí un mundo de ilusiones y un hambre de superación, logro crear en mí una mayor seguridad que a lo largo de todo este tiempo me ha servido para lograr lo que ahora soy y conseguir todas las metas, gracias por ayudarme a mejorar no solo como persona sino como profesional, muchas gracias por esos consejos brindados y por darme esa seguridad y confianza en mí para culminar mis estudios y emprender nuevos horizontes, muchas gracias amor.

## AGRADECIMIENTO

A **Dios** por darme la vida y permitirme tener una hermosa familia, además de conocer nuevas personas como compañeros y nuevos amigos.

A la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO** por abrirme sus puertas y poner a mi disposición cada una de sus instalaciones para que a lo largo de cuatro años y medio tuviera una buena preparación para obtener las herramientas que me ayudaran a afrontar nuevos horizontes y la vida misma.

Al **CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAÍZ Y TRIGO (CIMMYT)** por darme la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales dentro de esta institución y permitirme adquirir un mayor conocimiento y experiencia.

Al **Dr. ARMANDO ESPINOZA BANDA** por brindarme la oportunidad de colaborar con él en el proyecto de mi tesis, por darme su amistad y compartir conmigo sus experiencias transmitiéndome conocimientos, muchas gracias por todo el apoyo brindado.

A **mis asesores de tesis** a la Dra. Oralia Antuna Grijalva, M.C. José Luis Coyac Rodríguez y el Ing. Enrique Leopoldo Hernández Torres por todos esos consejos y observaciones que me ayudaron a mejorar mi trabajo además de compartir su amistad y convivencia con mi persona.

A **mis amigos** Mariela Olguín y José Miguel Gómez por su colaboración y apoyo en el proyecto de mi tesis por ayudarme y trabajar a mi lado para poder obtener buenos resultados y sobre todo por su amistad brindada.

A **mis compañeros** por esa convivencia a lo largo de toda la carrera, por compartir grandes momentos, por su amistad, apoyo y trabajo en conjunto.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>vi</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>vii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
2.1. Líneas.....	4
2.2. Línea pura .....	4
2.3. Híbridos .....	6
2.3.1. Híbrido simple.....	6
2.3.2. Híbrido trilineal.....	7
2.3.3. Híbrido doble .....	7
2.4. Interacción genotipo ambiente.....	7
2.5. Sequía .....	9
2.5.1. Efectos de estrés por sequía .....	12
2.5.2. Desarrollo del maíz en sequía .....	14
2.6. Aptitud combinatoria .....	15
2.6.1. Aptitud combinatoria general .....	17
2.6.2. Aptitud combinatoria específica .....	18
2.7. Parámetros genéticos.....	19
2.8. Diseños Genéticos.....	21
2.8.1. Cruzas Dialélicas .....	21
2.8.2. Aplicación de los diseños dialélicos .....	23
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>26</b>
3.1. Localización geográfica .....	26
3.2. Material genético .....	26
3.3. Descripción de la parcela experimental .....	27
3.4. Manejo agronómico .....	28

3.4.1. Siembra .....	28
3.4.2. Fertilización.....	28
3.4.3. Riego .....	28
3.4.4. Control de maleza.....	29
3.4.5. Control de plagas.....	29
3.4.6. Cosecha .....	29
3.5. Variables evaluadas .....	30
3.5.1. Días a floración femenina (FF).....	30
3.5.2. Días a floración masculina (FM).....	30
3.5.3. Intervalo antesis-emisión de estigmas (ASI) .....	30
3.5.4. Altura de la planta (AP) .....	30
3.5.5. Altura de mazorca (AM) .....	30
3.5.6. Aspecto de la planta (AsPI).....	31
3.5.7. Cobertura de mazorca (COB) .....	31
3.5.8. Porcentaje de mala cobertura (%MCOB) .....	31
3.5.9. Acame de tallo (AcT) .....	32
3.5.10. Acame de raíz (AcR).....	32
3.5.11. Número de plantas cosechadas (PICo).....	32
3.5.12. Número de mazorcas cosechadas (MzCo) .....	32
3.5.13. Número de mazorcas por planta (MzPI).....	33
3.5.14. Aspecto de la mazorca (AsMz) .....	33
3.5.15. Porcentaje pudrición de mazorca (%PuMz) .....	33
3.5.16. Diámetro de la mazorca (DM) .....	33
3.5.17. Longitud de la mazorca (LM) .....	33
3.5.18. Número de hileras por mazorca (HMz) .....	34
3.5.19. Número de granos por hilera (GH).....	34
3.5.20. Peso de campo (PMz) .....	34
3.5.21. Rendimiento (REND). .....	34
3.6 Análisis de varianza.....	35
3.7. Análisis genético.....	35
3.8. Estimación de parámetros genéticos.....	36
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>37</b>
4.1. Análisis de varianza.....	37

4.2. Aptitud combinatoria general (ACG).....	41
4.3. Aptitud combinatoria específica (ACE) .....	42
4.4. Promedio de variables agronómicas evaluadas en 15 cruzas de maíz en el ciclo primavera 2014.....	44
4.5. Parámetros genéticos.....	45
<b>V. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>48</b>
<b>VI. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>51</b>



## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 3.1 Genealogía de material genético utilizado como progenitores, 2013.</b>	<b>26</b>
<b>Cuadro 3.2. Cruzas posibles de seis progenitores, bajo el método IV de cruzas dialélicas (Griffing, 1956).</b>	<b>27</b>
<b>Cuadro 3.3. Genealogía de las 15 cruzas generadas de seis progenitores bajo el método IV de cruzas dialélicas (Griffing, 1956).</b>	<b>27</b>
<b>Cuadro 3.4. Escala de clasificación de cobertura de mazorca (CIMMYT, 1995) ....</b>	<b>31</b>
<b>Cuadro 3.5. Análisis de varianza del diseño dialélico de Griffing (1956) método IV de efectos fijos.</b>	<b>35</b>
<b>Cuadro 4.1. Cuadrados medios de 18 variables en 15 híbridos experimentales formados por cruce dialélico de seis progenitores, P-2014.</b>	<b>40</b>
<b>Cuadro 4.2. Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de seis progenitores en 18 variables evaluadas en el ciclo primavera 2014.</b>	<b>42</b>
<b>Cuadro 4.3. Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de 15 cruzas de maíz en 18 variables evaluadas en el ciclo de primavera 2014.</b>	<b>43</b>
<b>Cuadro 4.4. Valores medios de 18 variables en 15 cruzas evaluadas en el ciclo de primavera 2014.</b>	<b>45</b>
<b>Cuadro 4.5. Parámetros genéticos de 18 variables evaluadas en 15 cruzas de maíz en el ciclo de primavera 2014.</b>	<b>47</b>

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de estimar parámetros genéticos de cruzas simples de maíz (*Zea mays L.*) y determinar los efectos de Aptitud Combinatoria General de progenitores contrastantes y de la Aptitud Combinatoria Específica de sus respectivas cruzas. El trabajo se realizó en el campo experimental de la UAAAN-UL para lo cual se utilizaron seis líneas endogámicas de maíz, tres del CIMMYT y tres de la UAAAN-UL. En primavera de 2013 se realizaron los cruzamientos, bajo un esquema dialélico, y la siembra de evaluación de las cruzas se realizó el 7 de marzo del 2014 para los dos ambientes (riego normal-sequía). El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar con cuatro repeticiones, dos para riego normal y dos para sequía. La parcela útil consistió en dos surcos de 3.0 m de largo y 0.75 m de ancho con separación entre plantas de 0.17 m, dando por resultado una parcela útil de 4.5 m<sup>2</sup>. Se tomaron datos de floración masculina (FM), floración femenina (FF), intervalo polen-estigma (ASI), altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), aspecto de planta (AsPI), cobertura de mazorca (COB), porcentaje de mala cobertura (%MCOB), mazorcas por planta (MzPI), acame de tallo (AcT), acame de raíz (AcR), aspecto de mazorca (AsMz), porcentaje de pudrición de mazorca (%PuMz), diámetro de mazorca (DMz), longitud de mazorca (LMz), hileras por mazorca (HMz), granos por hilera (GH) y rendimiento de grano (REND). Los resultados obtenidos mostraron que la cruz 23x28 fue la que mayor promedio de REND obtuvo y se manifestó estadísticamente igual en cuanto a REND a las cruzas 24x28 y 23x27, mostrando estas tres cruzas los más altos valores de REND y expresión de heterosis, siendo el progenitor 28 el que aporta principalmente el REND en dos de las cruzas con la media más alta de REND. La varianza aditiva ( $\sigma^2_A$ ) predominó en las variables de FM, FF, AP, AM, HMz y GH y la varianza de dominancia ( $\sigma^2_D$ ) se presentó en las variables de MzPI, DMz, LMz y REND.

**Palabras claves:** *líneas, ACG, ACE, parámetros genéticos, cruzas, rendimiento*

## I. INTRODUCCIÓN

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, por lo que son consideradas un valioso recurso fitogenético (Morales *et al.*, 2007).

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.*, 2005).

A principios de la década de los noventa, el 52 % de los agricultores utilizaban materiales mejorados y el resto usaba variedades criollas, y ocasionalmente semilla de generaciones segregantes procedentes de híbridos (Gutiérrez *et al.*, 2002); en la actualidad se estima que 93% de ellos usa semilla mejorada. Es necesario, entonces, aumentar la calidad y productividad de este cultivo, mediante la caracterización de los mejores híbridos a través de técnicas que permitan determinar los efectos genéticos involucrados en los materiales de estudio y, por consiguiente, brindar a los productores más alternativas de genotipos de alto rendimiento.

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).

Mejorar para déficit hídrico no es una tarea fácil, ya que éste se considera como un carácter de herencia cuantitativa. Por lo que para obtener mayor avance en el mejoramiento por resistencia a sequía, se han aplicado diferentes índices de selección; así se tienen los propuestos por Fischer, *et al.* (1984); Fischer y Maurer (1978); Fernández (1992); Muñoz y Rodríguez (1988), entre otros.

Diferentes propuestas se han vertido para tener avances más rápidos en mejoramiento por deficiencia de humedad (Ludlow y Muchow, 1990). Bolaños y Edmeades (1996) sugirieron usar caracteres secundarios como criterio de selección, de esta forma se contribuye en el mejoramiento de la respuesta de las plantas al déficit hídrico.

El mejoramiento genético es un proceso continuo en la formación de nuevas variedades e híbridos comerciales; el conocimiento de los diversos tipos de acción génica y la importancia de éstos en la determinación de caracteres de interés, es básico para lograr avances rápidos en un programa destinado a la obtención de híbridos (Beltrán *et al.*, 2003; Malacarne y San Vicente, 2003). Se han desarrollado sistemas de apareamiento o diseños genéticos para conocer la acción génica de caracteres cuantitativos, determinar la aptitud combinatoria de los progenitores, seleccionar los mejores y diseñar los métodos de mejoramiento más eficientes (Comstock y Robinson, 1948; Griffing, 1956; Cockerham, 1963).

## **Objetivos**

Cuantificar parámetros genéticos de híbridos simples de maíz para grano a partir de líneas de diferentes programas de mejoramiento.

Conocer los efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) de progenitores contrastantes y la Aptitud Combinatoria Específica (ACE) de sus respectivas cruzas.

## **Hipótesis**

**H<sub>0</sub>:** No existe variación genética entre los parámetros de los progenitores.

**H<sub>A</sub>:** Existe variación genética entre los parámetros de los progenitores.

**H<sub>0</sub>:** Las líneas y las cruzas simples de maíz evaluadas, presentan efectos iguales de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica.

**H<sub>A</sub>:** Las líneas y las cruzas simples de maíz evaluadas, presentan efectos diferentes de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Líneas

En el mejoramiento de líneas a través de diferentes métodos tales como cruza y retrocruza, selección genética o mejoramiento convergente, la aptitud combinatoria es la que determina el valor de las mismas para utilizarlas como progenitores de híbridos comerciales. Para determinar este valor es necesario el uso de probadores y dentro de éstos las cruza simples ofrecen la posibilidad de que las combinaciones híbridas más sobresalientes puedan utilizarse como híbridos a escala comercial. La capacidad de una línea para transmitir información a su progenie híbrida se conoce como aptitud combinatoria, que puede ser general si mantiene su comportamiento medio en una serie de combinaciones híbridas, o específica cuando se refiere al comportamiento de dos líneas en determinada cruza (Rincón, 1997).

### 2.2. Línea pura

Las plantas de líneas puras después de un proceso de autofecundación ya no pueden 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 (Chávez, 1995).

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 *et al.*, 1997).

Las líneas puras 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).

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. Esta 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 de vigor.
- b) Las líneas autofecundadas presentan diferencias en muchas características normales tales como: altura de la planta y mazorca, madurez, longitud de mazorca, rendimiento, resistencia a plagas y enfermedades, adaptabilidad, etc.
- c) Algunas líneas autofecundadas tiene mayor vigor que otras aunque no difieren en su grado de homocigosis.
- d) Otras más son la falta de vigor que ya no se pueden propagar aun en las mejores condiciones del cultivo.

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 (Jugenheimer, 1990).

### **2.3. Híbridos**

La hibridación es un método de mejoramiento genético con mayor eficiencia en la producción de maíz, ya que los resultados reflejan un incremento marcado en la productividad sobre los niveles de rendimiento que las variedades de polinización libre, debido a que se explota directamente el fenómeno del vigor híbrido o heterosis (CIMMYT, 1987).

Allard (1980) define a un híbrido como el aumento de tamaño o en vigor del híbrido con respecto a sus progenitores. También se propuso el término heterosis para denotar el incremento en tamaño y vigor después de los cruzamientos.

De acuerdo con De la Loma (1975) 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.

#### **2.3.1. Híbrido simple**

Un híbrido simple es el resultado del cruzamiento de dos líneas endogámicas para obtener la generación  $F_1$ ; los híbridos simples son más



uniformes y tienden a presentar un mayor potencial de rendimiento bajo condiciones ambientales favorables (De la Loma, 1975).

### **2.3.2. Híbrido trilineal**

Un híbrido trilineal se forma con tres líneas autofecundadas, son el resultado de un cruzamiento entre una cruza simple y una línea autofecundada. La cruza simple como hembra y la línea como un macho. Con frecuencia se puede obtener mayores rendimientos con una cruza trilineal que con una doble, aunque varíe la uniformidad de las plantas (De la Loma, 1975).

### **2.3.3. Híbrido doble**

Un 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 cruza simple rinde más que una cruza trilineal y esta a su vez más que una doble (De la Loma, 1975).

## **2.4. Interacción genotipo ambiente**

Se ha definido a la interacción genotipo-ambiente como “el comportamiento relativo diferencial que exhiben los genotipos cuando se les somete a diferentes medios ambientales” (Márquez, 1992).

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 GxA 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).

El estudio de algunos parámetros genéticos del germoplasma evaluado, así como la estimación de los componentes de varianza y de sus interacciones con el medio ambiente permiten describir en cierto grado el complejo genético ambiental que afecta a un carácter dado. 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 ambiente. Uno de los factores importantes de esta interacción es que se reduce la correlación entre el fenotipo y genotipo con el resultado que las inferencias se vuelven más complicadas (Comstock y Moll, 1963).

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 el efecto adicional de la interacción (Márquez, 1992).

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, es sólo que 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 (Livera, 1992).

## **2.5. Sequía**

Mejorar para déficit hídrico no es una tarea fácil, ya que éste se considera como un carácter de herencia cuantitativa. Por lo que para tener mayor avance en el mejoramiento por resistencia a sequía, se han aplicado diferentes índices de selección, Así se tiene el propuesto por Fischer, Johnson y Edmeades (1984); Fischer y Maurer (1978); Fernández (1992); Muñoz y Rodríguez (1988), entre otros.

Diferentes propuestas se han vertido para tener avances más rápidos en mejoramiento por deficiencia de humedad (Ludlow y Muchow, 1990). Bolaños y Edmeades (1996) sugirieron usar caracteres secundarios como criterio de selección, de esta forma se contribuye en el mejoramiento de la respuesta de las plantas al déficit hídrico.

Respecto al uso de caracteres secundarios para mejorar para sequía, Peña y Del Campo (1993) encontraron al índice de cosecha y mazorcas por planta, como las características más asociadas con el rendimiento de grano en condición de temporal y sequía, por lo que los autores consideran esos caracteres como variables útiles de selección.

Guei y Wassom (1992) reportaron más caracteres asociados a la floración masculina, intervalo entre floración masculina y femenina, y número de mazorcas por planta con el rendimiento de grano en sequía que en riego.

Dentro de las variables importantes a considerar en una evaluación para tolerancia a sequía son: el rendimiento de grano, mazorcas por planta, intervalo de floración masculina y femenina, senescencia de la hoja (fogueo), tamaño de espiga y enrollamiento de las hojas (Banziger *et al.*, 2000). Particularmente, (Sierra *et al.*, 2000) seleccionaron líneas por su comportamiento per se y sus mestizos bajo condiciones de riego normal, stress intermedio y stress severo, con las que se formaron híbridos y sintéticos.

La sequía afecta la producción del maíz variando en las diferentes etapas de crecimiento afectando la materia seca y la producción de grano (Thakur y Rai, 1984; Hetrick *et al.*, 1987; Hall, 1988; Sinclair *et al.*, 1990). Lo mismo se observa en los procesos fisiológicos que se ven afectados en mayor a menor grado, su efecto depende de la intensidad, frecuencia y duración del equilibrio, así como el estado de crecimiento y desarrollo de la planta (Sivori *et al.*, 1980).

La limitación hídrica afecta adversamente el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento del maíz durante las etapas reproductivas. En general, la limitación de agua provoca en las plantas una caída en la presión de turgencia y el cierre estomatal para reducir la pérdida de agua en el tejido. Un decremento en el potencial hídrico interno, produce hojas enrolladas, lo que reduce la superficie expuesta, disminuyendo la fotosíntesis y finalmente el crecimiento. Visualmente, la limitación hídrica se manifiesta como una reducción en la altura y rendimiento en biomasa. En las etapas reproductivas subsiguientes, una limitación en la disponibilidad de agua resulta en la quema y arrugamiento de las hojas (Hsiao, 1973; Westgate *et al.*, 2004).

Las etapas de desarrollo a floración (VT-R1) son períodos particularmente vulnerables para el crecimiento y el rendimiento final de la planta de maíz. Con cuatro días de marchitez visible en las etapas previas a VT (antes), el rendimiento puede reducirse hasta en un 25%, mientras que la marchitez durante cuatro días entre las etapas finales V y R2, puede producir hasta un 50% de baja en rendimiento (McWilliams, 2002). Un mecanismo importante por el que la sequía (agobio o estrés hídrico a nivel de la planta) reduce el rendimiento, es porque impide la floración sincrónica. Los rendimientos óptimos dependen de que la maduración de estigmas femeninos (silking, R1), ocurra a unos días de la emergencia de la espiga masculina (antes); la sincronía se considera como una medida del intervalo entre ambos tipos de floración (ASI, por anthesis-silking interval).

Si el ASI (Intervalo polen-estigma) se incrementa, los estigmas emergen muy tarde para capturar el polen liberado, y los rendimientos caen dramáticamente. Ya que estos estigmas largos, húmedos y pegajosos, dependen de un suministro suficiente de agua para brotar en el momento correcto, la limitación de agua es una causa de valores más altos de ASI (Westgate *et al.*, 2004).

Los estigmas son más sensibles a los potenciales hídricos bajos que las hojas o las raíces, ya que valores pequeños de este parámetro, se asocian con una baja retención de solutos y la incapacidad de mantener la turgencia (Maiti y Wesche-Ebeling, 1998). No obstante, la dificultad para captar polen no es la única causa de un número pobre de granos; bajo condiciones de limitación de agua, el aborto de granos ya fertilizados puede ser un factor significativo de la pérdida en rendimiento (Westgate *et al.*, 2004).

El estrés hídrico durante etapas vegetativas y la floración, reducen el número de granos e incrementan la cantidad de plantas sin mazorcas. Durante el llenado del grano en la mazorca, esta condición genera granos chicos

(Campos *et al.*, 2006); si la humedad de éstos baja del 30%, entonces no acumulan materia seca. Los fitomejoradores han buscado mejoras y, a lo largo de décadas, han logrado diversos avances en pro de la tolerancia a la sequía en maíz. Los programas de cruzamiento y selección bajo condiciones de limitación hídrica, han generado germoplasma mejorado que es capaz de producir buenos rendimientos, comparados con híbridos convencionales susceptibles. La estrategia principal para este tipo de fitomejoramiento ha sido la selección hacia floración sincrónica. Los investigadores promueven este proceso por medio de la autopolinización de plantas bajo sequía; aquellas plantas que maduren sus estigmas al tiempo de la liberación del polen, pueden cruzarse consigo mismas, lo que permite la selección de plantas que son capaces de mantener esta función de sincronía en floración bajo condiciones de estrés hídrico.

En un estudio respectivo sobre los avances respecto de la tolerancia a sequía en los últimos 50 años, se encontró que las mayores ganancias en rendimiento de grano obtenidas bajo estrés hídrico en floración fueron apenas superiores a  $0.1 \text{ t ha}^{-1}$  año; los rendimientos bajo condiciones óptimas también mejoraron, aunque se incrementó la susceptibilidad a estrés durante etapas intermedias o finales del llenado de grano (Campos *et al.*, 2006).

### **2.5.1. Efectos de estrés por sequía**

El estrés por sequía afecta las características fisiológicas a nivel celular. El estrés provocado por la sequía afecta algunas características fisiológicas clave: hay acumulación de ácido abscísico (ABA). Éste se genera principalmente en las raíces y estimula su crecimiento, de ahí pasa a las hojas (y, en mucho menor grado, a los granos), donde provoca enrollamiento, cierra los estomas y acelera la senescencia foliar. Esto sucede aún antes de que los mecanismos hidráulicos reduzcan la turgencia foliar (Zhang *et al.*, 1987). Es probable que esta señal, enviada por las raíces, sea la que hace que la planta

reduzca las pérdidas de agua. Por tanto, el ABA es un regulador del crecimiento vegetal que ayuda a la planta a sobrevivir al estrés por sequía, pero que no parece contribuir a la producción en condiciones de sequía. Este ácido también pasa al grano, donde contribuye al aborto de los granos de la punta durante el llenado de grano.

Cuando hay estrés de leve a moderado, la expansión celular se inhibe. A medida que el estrés se intensifica, esto se manifiesta en una menor expansión del área foliar, seguida por un menor crecimiento de los estigmas, un menor alargamiento del tallo y, finalmente, menos crecimiento radicular. Cuando hay estrés severo por sequía, la división celular se inhibe de forma tal, que aunque el estrés desaparezca, los órganos afectados no tienen células suficientes para expandirse plenamente. Cuando el estrés por sequía es severo, con frecuencia se observa acumulación de prolina. La prolina actúa como osmolito y, a medida que se pierde la turgencia, protege las estructuras proteínicas (Westgate 1997; Zinselmeier *et al.*, 1995).

La sequía provoca la reducción de la expansión de hojas, estigmas, tallos, raíces y granos (en ese orden). La escasa expansión del área foliar resulta en un sombreado incompleto del suelo. En condiciones de alto potencial de evapotranspiración, la senescencia foliar se acelera y continúa hacia la parte superior de ésta, disminuyendo aún más la interceptación de la radiación solar.

Los estomas se cierran, y la fotosíntesis y la respiración disminuyen a causa de la foto-oxidación y el daño a las enzimas. La planta trata de mantener la división celular mediante el ajuste osmótico, especialmente en los meristemas en crecimiento, pero este ajuste al parecer no juega un papel importante en mantener el crecimiento cuando el estrés es severo.

El flujo de asimilados a los órganos en crecimiento se reduce. El crecimiento de los estigmas se retrasa y hace que se retrase también la emisión

de éstos, con lo cual se alarga el intervalo entre la antesis y la emisión de estigmas. El aborto de mazorcas y granos aumenta y las plantas se pueden volver estériles. La esterilidad puede provocar la pérdida total del rendimiento (Banziger *et al.*, 2012).

### **2.5.2. Desarrollo del maíz en sequía**

Aunque la sequía afecta, hasta cierto punto, el rendimiento de grano del maíz en casi todas las etapas de su desarrollo, el cultivo es más susceptible durante la floración (Claassen y Shaw 1970; Denmead y Shaw 1960; Grant *et al.*, 1989). El maíz parece ser extremadamente sensible a la sequía desde 2 días antes y hasta 22 días después de la emisión de estigmas, pero la máxima sensibilidad se registra a los 7 días; las plantas se pueden volver casi completamente estériles si padecen estrés desde justo antes del espigamiento hasta el inicio del llenado de grano (Grant *et al.*, 1989).

Se piensa que el maíz es más susceptible durante la floración que otros cultivos de temporal porque todas las florecillas femeninas se desarrollan casi al mismo tiempo y, por lo general, en una sola mazorca de un solo tallo. A diferencia de otros cereales, en el maíz las flores masculinas y femeninas están separadas por una distancia de hasta un metro, y el polen y el frágil tejido estigmático están expuestos a una atmósfera seca que es hostil a la polinización. Además, y lo que es más importante, el crecimiento de los estigmas y el número de granos al parecer dependen directamente del flujo de los productos fotosintéticos durante las tres semanas de la floración, período de sensibilidad extrema (Schussler y Westgate 1995).

Cuando la fotosíntesis por planta se reduce durante la floración por efecto de la sequía y otras causas de estrés abiótico, el crecimiento de los estigmas se retrasa, lo cual lleva a un incremento (fácilmente medible) del intervalo entre la antesis y la emisión de estigmas (IPE, intervalo polen-



estigmas), y al aborto de granos y mazorcas (Bolaños y Edmeades 1996; DuPlessis y Dijkhuis 1967; NeSmith y Ritchie 1992).

Aunque con frecuencia las plantas forman, mucho antes de la floración, una cantidad razonable de reservas que son almacenadas en el tallo, la mazorca en desarrollo tiene muy poca capacidad de movilizar y atraer estas reservas en las primeras dos semanas de su vida. Es posible que la polinización se realice con éxito en plantas que padecen estrés por sequía y que, poco días después, éstas aborten los granos (Westgate y Bassetti 1991; Westgate y Boyer 1986).

Una vez que los granos entran en la fase lineal de la acumulación de biomasa, dos o tres semanas después de la polinización, éstos desarrollan suficiente atracción en el recipiente para movilizar los asimilados de reserva almacenados en el tallo y las brácteas. Si los granos llegan a esta etapa, lo normal es que crezcan y lleguen a pesar por lo menos 30% de lo que pesan los granos de una planta no estresada, incluso si la sequía se vuelve mucho más intensa (Bolaños y Edmeades, 1996).

## **2.6. Aptitud combinatoria**

Generalmente el término aptitud combinatoria significa la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, es la 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 una selección de aquellos que exhiban la más alta (Márquez, 1988).

Gutiérrez *et al.* (2002) mencionan que la aptitud combinatoria se refiere a la capacidad de un individuo o de una población de combinarse con otras, la capacidad es medida por medio de su progenie y debe determinarse por varios

individuos de la población no en uno solo, con el fin de poder seleccionar u obtener los cruzamientos más adecuados para poder sustituir los híbridos comerciales.

En la práctica estos conceptos de aptitud combinatoria permiten seleccionar líneas con buen comportamiento promedio en una serie de cruzamientos e identificar combinaciones híbridas específicas con un comportamiento superior al esperado en base al promedio de las líneas que intervienen en el cruzamiento (Fuentes *et al.*, 1997).

La estimación de la aptitud combinatoria de una línea endogámica es fundamental para la formación de híbridos y variedades sintéticas. Inicialmente, la aptitud combinatoria fue un concepto general, utilizada para la clasificación de una línea en relación con su comportamiento en cruzas, actualmente se estima en familias, variedades, cruzas simples o cualquier material que se use como progenitor (Martínez, 1983).

El análisis de la aptitud combinatoria tiene mayor uso en programas de mejoramiento que son diseñados para explotar heterosis mediante la producción de híbridos  $F_1$ . Estos análisis también proveen información acerca del tipo de acción génica que está presente en la población base, lo cual ayuda en la selección del material progenitor para ser usado en la producción de cruzas y poblaciones segregantes (Meredith, 1984).

Metzinger y Kempthorne (1956) examinaron las relaciones entre los componentes genéticos clásicos de la variación y los efectos de ACG y ACE, haciendo énfasis en la estimación de la interacción genético-ambiental definida a través de variaciones en tiempo y espacio, siguiendo el uso de experimentos de cruzas dialélicas para estimar el potencial de rendimiento de las propias cruzas, proporcionando además adecuarlas para su estimación.

Luchsiner y Violíc (1972) determinaron la ACG y 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.

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.*, 2002).

### **2.6.1. Aptitud combinatoria general**

La Aptitud Combinatoria General (ACG) es el desempeño promedio de una línea pura en algunas combinaciones híbridas, y además proporciona información sobre las líneas con alto grado de endogamia que deben producir los mejores híbridos (Jugenheimer, 1990).

Se define como aptitud combinatoria general al comportamiento promedio o general de una línea en una serie de cruzas (Sprague y Tatum, 1942). La aptitud combinatoria general está relacionada con los genes de efectos aditivos (Matzinger, 1963).

Jungenheimer (1985) menciona que los probadores deben seleccionarse por su capacidad para combinar las líneas con otras. La aptitud combinatoria general proporciona información sobre que líneas deben producir los mejores híbridos cuando se cruzan con muchas otras líneas. Pueden usarse

probadores adecuados para determinar que líneas pueden sustituirse en los híbridos actuales o usarse en nuevos híbridos prometedores.

### **2.6.2. Aptitud combinatoria específica**

Se define como Aptitud Combinatoria Específica, al comportamiento de las combinaciones específicas de líneas en relación al comportamiento de las líneas que la forman. Es el resultado del efecto conjunto de dos líneas en particular, por lo que a diferencia de la aptitud combinatoria general, ésta es medida como la desviación de la suma de la media general más las aptitudes combinatorias de los progenitores. Esta medida no es característica de cada línea en particular, sino de una combinación especial de pares de líneas (Sprague y Tatum, 1942).

La aptitud combinatoria específica se emplea para designar aquellos casos en los cuales ciertas combinaciones lo hacen relativamente mejor o peor de lo que podría esperarse sobre la base del comportamiento de las líneas involucradas (Martínez, 1983).

Poehlman (1987) menciona que se puede obtener información sobre la aptitud combinatoria específica de los clones, mediante el ensayo comparativo de las cruza simples entre ellos. Se cruzan 10 o más de los clones originales con progenies de policruzas sobresalientes, para formar cruza simples en todas las combinaciones posibles. Se compara el comportamiento de las progenies de las cruza simples, para determinar la aptitud combinatoria específica de los clones.

Hallauer y Eberhart (1976) indican que en un programa de mejoramiento, cuya finalidad es la formación de híbridos, la aptitud combinatoria específica debe ser más importante, ya que se pueden explotar más a los efectos no aditivos, como dominancia y epístasis, ya que la varianza de la

aptitud combinatoria general indica la porción de la varianza genética debida a los efectos aditivos de los genes. Mientras que la varianza de la aptitud combinatoria específica indica la porción de la varianza genética que puede ser debida a desviaciones de dominancia.

## **2.7. Parámetros genéticos**

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.*, 2002).

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.

Dos son los propósitos que se persiguen al estimar los parámetros genéticos (Robinson y Cockerham, 1965):

1) suministrar información sobre la naturaleza de la acción de los genes y,

2) suministrar la información básica para la utilización de programas de mejoramiento de una población, o posiblemente, la información para el desarrollo de nuevos enfoques para el mejoramiento genético de plantas y animales.

Se han planteado una serie de aspectos muy importantes para el trabajo de fitomejorador que pueden ser abordados por medio de la estimación de los parámetros genéticos (Dudley y Moll, 1969), entre ellos están:

- 1) Si existe suficiente variación genética en la población para permitir el mejoramiento en los caracteres de importancia.
- 2) Cuan extensamente debe evaluarse el material (en términos de años, localidades, repeticiones) para identificar las progenies superiores en la poblaciones.
- 3) Qué material genético de la población es prometedor como fuente de mejoramiento.
- 4) Qué método de mejoramiento puede resultar más efectivo.
- 5) Si el material final más apropiado será un híbrido, sintético o variedad mejorada.

Entre los parámetros genéticos más importantes se encuentra la heredabilidad; que en sentido amplio ( $H^2$ ), es la porción de la varianza fenotípica que corresponde a la varianza genética total; en sentido estrecho ( $h^2$ ), es la porción de la varianza fenotípica que corresponde a la varianza genética aditiva. Una definición un tanto más general de este parámetro es la siguiente: es la fracción del diferencial de selección es practicada en base a una unidad de referencia definida (Lamkey y Hallauer, 1987). El principal uso de heredabilidad en mejoramiento genético es la predicción de ganancia por selección.

Los siguientes conceptos fueron definidos por Dudley y Moll (1969): la varianza fenotípica es la varianza total entre fenotipos cuando se desarrollan a través de varios ambientes. La varianza genética total es la parte de la varianza fenotípica que puede ser atribuida a las diferencias genotípicas entre fenotipos, y puede subdividirse aún en varianza genética aditiva, varianza genética de dominancia y varianza genética epistática. La varianza de la interacción genotipo por ambiente es la parte de la varianza genotípica debida a la no coincidencia en el comportamiento de los mismos genotipos en diferentes ambientes.

## **2.8. Diseños Genéticos**

### **2.8.1. Cruzas Dialélicas**

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 (1986) describió el método de cruzas dialélicas que 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 dialélicas, a saber: 1) los experimentos dialélicos completos, 2) los experimentos dialélicos 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 y 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 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.

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 cruzas dialélicas generalmente son utilizadas por los programas de mejoramiento de plantas 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 (Hallauer, 1993).

El mejoramiento del maíz incluye dos componentes de igual importancia: la elección del germoplasma y el desarrollo de líneas para su uso en híbridos. 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 la 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 (Castañón *et al.*, 2005).

### **2.8.2. Aplicación de los diseños dialélicos**

Los diseños dialélicos pueden ser usados en estudios genéticos para indagar la herencia de rasgos o características de importancia entre un grupo de genotipos. Específicamente las cruza dialélicas fueron desarrolladas para estimar la aptitud combinatoria general de los padres e identificar al padre superior para ser usado en la formación de híbridos o sintéticos. El análisis de los datos del dialélico es usualmente realizado acorde a los métodos de Griffing, que particionan la variación total observada en efectos de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica (Yan y Hunt, 2002).

Griffing (1956) abordó los conceptos y la teoría estadística relacionada con los diseños dialélicos, de acuerdo así participan o no progenitores y las cruza recíprocas de la  $F_1$ , y las clasificó en cuatro métodos:

1. Participan todas las cruzas posibles y comprende a los progenitores, las cruzas directas  $F_1$  y la craza recíproca  $F_1$ . Habrán  $p^2$  familias, donde  $p$  es el número de progenitores.
2. Incluye sólo los progenitores y las cruzas  $F_1$ , esto es, tendremos  $p(p+1)/2$  número de familias.
3. Incluye cruzas directas y recíprocas, tendríamos  $p(p-1)$  número de familias.
4. Solo participan las cruzas directas, o sea,  $p(p-1)/2$  número de familias.

Los diseños de apareamiento llamados dialélicos se han utilizado frecuentemente para estimar efectos maternos, recíprocos, de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica, y componentes de la varianza genética de poblaciones de diferente naturaleza. El análisis dialélico como una forma para determinar los efectos aditivos principales de los progenitores y sus interacciones en los cruzamientos individuales, denominado componente genético aditivo a la aptitud combinatoria general y componente genético no aditivo a la aptitud combinatoria específica. La interacción en este caso es usada como indicador de desviación de actividad (Christie y Shattuck, 1992).

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  $S_1$  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. 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.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización geográfica

El campo experimental UAAAN-UL, se localiza 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 a 22°C, precipitaciones escasas, precipitación media anual de 300 mm, 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 44 km h (INEGI, 2008).

#### 3.2. Material genético

Se utilizaron seis líneas endogámicas de maíz, tres provenientes del banco de germoplasma de CIMMYT y tres de la UAAAN-UL (Cuadro 3.1).

**Cuadro 3.1 Genealogía de material genético utilizado como progenitores, 2013.**

Línea	Genealogía	Origen
23	AN77	UAAAN-UL
24	CML505	CIMMYT
25	CML508	CIMMYT
26	CML509	CIMMYT
27	AN82	UAAAN-UL
28	AN78	UAAAN-UL

En el ciclo de primavera del 2013 se realizaron las cruzas entre las líneas. El sistema de cruzamiento fue de acuerdo al método IV del diseño dialélico propuesto por Griffing (1956), de acuerdo a este sistema se generaron  $t=p(p-1)/2$  cruzas posibles, es decir 15 cruzas (Cuadro 3.2).

**Cuadro 3.2. Cruzas posibles de seis progenitores, bajo el método IV de cruzas dialélicas (Griffing, 1956).**

♂ \ ♀	23	24	25	26	27	28
23		23 X 24	23 X 25	23 X 26	23 X 27	23 X 28
24			24 X 25	24 X 26	24 X 27	24 X 28
25				25 X 26	25 X 27	25 X 28
26					26 X 27	26 X 28
27						27 X 28
28						

**Cuadro 3.3. Genealogía de las 15 cruzas generadas de seis progenitores bajo el método IV de cruzas dialélicas (Griffing, 1956).**

Cruzas	Genealogía
23 x 24	AN77/CML505
23 x 25	AN77/CML508
23 x 26	AN77/CML509
23 x 27	AN77/AN82
23 x 28	AN77/AN78
24 x 25	CML505/CML508
24 x 26	CML505/CML509
24 x 27	CML505/AN82
24 x 28	CML505/AN78
25 x 26	CML508/CML509
25 x 27	CML508/AN82
25 x 28	CML508/AN78
26 x 27	CML509/AN82
26 x 28	CML509/AN78
27 x 28	AN82/AN78

### 3.3. Descripción de la parcela experimental

Las cruzas generadas bajo el apareamiento dialélico fueron evaluadas en el ciclo agrícola de primavera del 2014. Se evaluaron las cruzas obtenidas de un total de 15 tratamientos dentro de un diseño experimental bloques al azar con 4 repeticiones, 2 repeticiones bajo riego normal y las otras 2 repeticiones bajo sequía. La parcela útil consistió en dos surcos de 3.0 m de largo y 0.75 m de ancho con separación entre plantas de 0.17 m, dando por resultado una

parcela útil de 4.5 m<sup>2</sup> con 36 plantas por tratamiento por repetición y una densidad de 78, 431 plantas por hectárea.

### **3.4. Manejo agronómico**

#### **3.4.1. Siembra**

La siembra de evaluación de las cruzas se llevó a cabo en ciclo primavera 2014 el 07 de marzo en el campo experimental de la UAAAN-UL, se realizó en forma manual depositando dos semillas por golpe. Se aplicó un riego posterior a la siembra y a los 22 días se realizó un aclareo dejando una planta por golpe.

#### **3.4.2. Fertilización**

La fertilización se realizó con sulfato de amonio, ácido fosfórico y urea ácida. Se fertilizó con la fórmula de 200-100-00 aplicando el 50% del nitrógeno al momento de la siembra. El 50 % de fósforo se aplicó en el primer riego posterior a la primera escarda y el resto previo al último cultivo. El resto del nitrógeno se aplicó durante las siguientes etapas del cultivo después de la siembra, se aplicó un 20% después de la primera escarda, otro 20% posterior al último cultivo y el restante 10% previo a la floración.

#### **3.4.3. Riego**

Se aplicó un total de 26 riegos para los tratamientos bajo riego normal con diferentes láminas y tiempos de riego con intervalos de 5 días entre uno y otro riego, sujetas a la humedad disponible en el suelo durante todo el ciclo de evaluación. Para los tratamientos bajo sequía se aplicaron 13 riegos con la misma lámina y tiempo que los tratamientos con riego normal, hasta la aparición de la hoja bandera en donde comenzó a restringir el riego con la finalidad de provocar estrés en los tratamientos en el periodo de floración, regándose en intervalos de 15 días con la mitad de la lámina y tiempo que la aplicada en riego

normal (CIMMYT, 2012), aplicando 4 riegos más después de la aparición de la hoja bandera para un total de 17 riegos en los tratamientos en condiciones de estrés por sequía.

#### **3.4.4. Control de maleza**

Para el control de maleza se llevó a cabo la aplicación del herbicida pre-emergente HARNESS XTRA (acetaclor + atrazina), posterior a la siembra y antes de la emergencia de las plantas a una dosis de 300 ml en 20 l de agua. Además se utilizó herbicida post-emergente HIERBAMINA (2-4-D), con una aplicación de 250 ml en 20 l de agua. De igual manera para controlar la maleza se hicieron labores utilizando azadón antes del primer cultivo y también se controló de manera manual posterior al último cultivo.

#### **3.4.5. Control de plagas**

El problema principal de plagas que se presentó durante el desarrollo del cultivo fue el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*). Para lo cual para el control de las larvas de gusano cogollero se aplicó Clorpirifos etil (líquido) a una dosis de 65 ml en 20 l de agua. También para controlar el gusano cogollero se aplicó cipermetrina a una dosis de 50 ml en 20 l de agua así como la aplicación de clorpirifos granulado a razón de 10 kg ha<sup>-1</sup>. Para el control de pulga saltona (*Epitrix sp.*) se utilizó una sola aplicación de clorpirifos a dosis de 60 ml en 20 l de agua. El control de araña roja (*Tetranychus urticae*) se llevó a cabo mediante la aplicación de ometoato con una dosis de 65 ml en 20 l de agua una aplicación de abamectina a razón de 50 ml en 20 l de agua. Las aplicaciones se realizaron de manera manual con mochila de 20 litros.

#### **3.4.6. Cosecha**

La cosecha se realizó entre los 140 y 150 días después de la siembra de forma manual cuando el grano alcanzó una humedad del 13%, determinada

con un determinador electrónico Motomco Moisture Meter modelo No 919, serial No A-2937 cosechando todas las mazorcas de cada planta de la parcela útil.

### **3.5. Variables evaluadas**

#### **3.5.1. Días a floración femenina (FF)**

Para la toma de la floración femenina, se registró el número de días transcurridos desde la siembra hasta la fecha en la cual el 50% de las plantas de la parcela tenían estigmas de 2 a 3 cm de largo para la floración femenina.

#### **3.5.2. Días a floración masculina (FM)**

Para la masculina se registraron los días transcurridos desde la siembra hasta que se alcanzó el 50% de la emisión de polen por parte de las espigas.

#### **3.5.3. Intervalo antesis-emisión de estigmas (ASI)**

Se obtuvo mediante la resta de los días a floración femenina menos días a floración masculina.

#### **3.5.4. Altura de la planta (AP)**

La altura de la planta se tomó en cinco plantas seleccionadas al azar de la parcela, se midió la distancia desde la base de la planta hasta el punto donde comienza a ramificarse la espiga. La medición se realizó dos semanas posteriores a la floración con un estadal de 4 m de longitud, registrando los datos en cm.

#### **3.5.5. Altura de mazorca (AM)**

La altura de mazorca se tomó en cinco plantas seleccionadas al azar de la parcela, midiendo esta desde la base de la planta hasta el nudo con la



mazorca más alta. La medición se llevó a cabo dos semanas posteriores a la floración, realizando la medición con un estadal y se expresó en centímetros.

### 3.5.6. Aspecto de la planta (AsPI)

Los datos sobre el aspecto de la planta fueron tomados en la etapa en que las brácteas se tornaron de color café, cuando las plantas estaban aún verdes y ya se habían desarrollado por completo las mazorcas. Los datos se registraron según en una escala del 1 a 5, donde 1 es excelente y 5 deficiente.

### 3.5.7. Cobertura de mazorca (COB)

Esta variable se calificó tres semanas antes de la cosecha, cuando las mazorcas estaban completamente desarrolladas y las brácteas se estaban secando. La evaluación de cobertura de mazorca se calificó según una escala del 1 a 5 (CIMMYT, 1995):

**Cuadro 3.4. Escala de clasificación de cobertura de mazorca (CIMMYT, 1995)**

<b>Escala de calificación</b>	<b>Cobertura por las brácteas</b>
1. Excelente	Las brácteas cubren apretadamente la punta de la mazorca y se extiende más allá de ella.
2. Regular	Cubren apretadamente la punta de la mazorca.
3. Punta expuesta	Cubren flojamente la mazorca hasta la punta.
4. Grano expuesto	Las brácteas no cubren la mazorca adecuadamente y dejan la punta algo expuesta.
5. Completamente inaceptable	Cobertura deficiente; la punta está claramente expuesta.

### 3.5.8. Porcentaje de mala cobertura (%MCOB)

Se contó el número de mazorcas con mala cobertura, para obtener posteriormente un porcentaje de mala cobertura en relación al total de número de mazorcas cosechadas.

### **3.5.9. Acame de tallo (AcT)**

Para el acame de tallo se registraron el número de plantas con tallos rotos debajo de las mazorcas, pero no más arriba, debido a que tal vez había algunas plantas débiles, con tallos de mala calidad, pero que todavía no se acamaban, para identificarlas, se empujaban los tallos suavemente; las plantas que caían se contaban como plantas acamadas de tallo, estos datos se tomaron un día antes de la cosecha y posteriormente se obtuvo un porcentaje en relación al total del número de plantas cosechadas.

### **3.5.10. Acame de raíz (AcR)**

Los datos sobre el acame de raíz se tomaron un día previo a la cosecha, para lo cual se registraron el número de plantas con una inclinación de 30° o más a partir de la perpendicular en la base de la planta, donde comienza la zona radical y posteriormente se obtuvo un porcentaje en relación al total del número de plantas cosechadas.

### **3.5.11. Número de plantas cosechadas (PICO)**

En lo que respecta a esta evaluación se registró el número de plantas cosechadas en cada parcela, sin importar que la planta tuviera una mazorca, dos mazorcas o ninguna.

### **3.5.12. Número de mazorcas cosechadas (MzCo)**

Se registraron para esta toma la cantidad total de mazorcas cosechadas de cada parcela.

### **3.5.13. Número de mazorcas por planta (MzPI)**

Esta variable se obtuvo dividiendo el número total de mazorcas cosechadas entre el número total de plantas cosechadas.

### **3.5.14. Aspecto de la mazorca (AsMz)**

Después de la cosecha, se extendió la pila de mazorcas frente a cada parcela y se calificaron características como daños por enfermedades e insectos, tamaño de la mazorca, llenado del grano y uniformidad de las mazorcas según una escala de 1 a 5, donde 1 fue óptimo y 5, muy deficiente (CIMMYT, 1995).

### **3.5.15. Porcentaje pudrición de mazorca (%PuMz)**

En cada parcela cosechada se contó el número de mazorcas podridas y posteriormente se obtuvo un porcentaje de pudrición de mazorca en relación al total de mazorcas cosechadas.

### **3.5.16. Diámetro de la mazorca (DM)**

El diámetro de la mazorca se midió desde la corona de un grano hasta la corona de otro grano en cm, obteniendo esta medida con la ayuda de un vernier.

### **3.5.17. Longitud de la mazorca (LM)**

La longitud de la mazorca se midió desde la base del pedúnculo hasta su ápice en cm, para lo cual se utilizó una regla de 30 cm.

### **3.5.18. Número de hileras por mazorca (HMz)**

Para la variable de número de hileras por mazorca, se contaron las hileras en zonas próximas al centro, debido a que es la zona donde se mantiene la orientación embrionaria central de la mazorca.

### **3.5.19. Número de granos por hilera (GH)**

Se contaron el total de granos de dos hileras de la mazorca y posteriormente se obtuvo un promedio dividiendo el total de granos de las dos hileras entre dos.

### **3.5.20. Peso de campo (PMz)**

El peso de campo se obtuvo con el peso total de las mazorcas cosechadas por parcela útil expresado en Kg.

### **3.5.21. Rendimiento (REND).**

El rendimiento 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, reflejada en  $\text{kg ha}^{-1}$ . La fórmula utilizada es la presentada por (Morales, 1993).

$$\frac{\text{kg}}{\text{Ha}} = (\text{PeCa})(Kd) \left( \frac{(100 - Hc)}{86} \right) \left( \frac{10000}{AU} \right)$$

Donde: *PeCa* = Peso de campo de las mazorcas cosechadas por parcela útil en Kg; *Kd* = Índice de desgrane para ajustar el rendimiento de grano; *AU* = Área de Parcela útil y *Hc* =Humedad de campo u de cosecha.

### 3.6 Análisis de varianza.

**Cuadro 3.5. Análisis de varianza del diseño dialélico de Griffing (1956) método IV de efectos fijos.**

FV	gl	S.C.	C.M.	E.C.M.
Ambiente	$a-1$			
Rep/A	$(r-1) a$	$(1/n+2)[\sum(yi+yii)^2-4/nY^2]$		
Cruzas	$\frac{n(n+1)-1}{2}$	$\frac{\sum\sum y^2 ij(1/n+2)[\sum yi+yii]2}{+2/(n+1)(n+2)y^2}$		
ACG	$n-1$		$Mg$	$\sigma^2 e + \sigma^2 s + r(4q+p-2) \sigma^2 g$
ACE	$n(n-1)/2$		$Ms$	$\sigma^2 e + \sigma^2 s$
AxC	$(a-1) \frac{(n(n+1)-1)}{2}$			
ACGxA				
ACExA				
Error	$(a(r-1)([n(n+1)/2]-1)$		$Me$	$\sigma^2 e$
Total				

### 3.7. Análisis genético.

Se empleó el método IV de Griffing (1956) para el análisis del cruzamiento dialélico, en el cual se estudian solo las cruzas directas, teniendo 15 por evaluar. Se estimó la aptitud combinatoria de las líneas y se comparó el comportamiento de las mismas en combinaciones híbridas, con el Programa Diallel.SAS Versión 2.10 (Zhang, 2005), se estimó ACG y ACE para cada una de las características evaluadas. El análisis se realizó bajo el modelo genético estadístico siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + B_k + e_{ijk}$$

Donde:  $y_{ijk}$  = valor fenotípico observado de la craza de las líneas (i, j), en el bloque k;  $\mu$  = 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 craza de los progenitores i y j;  $B_k$  = es el efecto del bloque  $k$  y  $e_{ijk}$  = efecto ambiental aleatorio correspondiente a la i, j, k, i-ésima observación.

### 3.8. Estimación de parámetros genéticos

La estimación de los parámetros genéticos se hicieron a través de las siguientes formulas:

$$\text{Varianza aditiva: } \sigma^2 A = \frac{CM_{ACG} - CM_{ACE}}{r(4q+p-2)}$$

$$\text{Varianza de dominancia: } \sigma^2 D = \frac{CM_{ACE} - CME}{r}$$

$$\text{Varianza fenotípica: } \sigma^2 F = \frac{\sigma^2 e}{r} + \sigma^2 A + \sigma^2 D$$

$$\text{Heredabilidad en sentido amplio: } H^2 = \frac{\sigma^2 G}{\sigma^2 F}$$

$$\text{Heredabilidad en sentido estricto: } h^2 = \frac{\sigma^2 A}{\sigma^2 F}$$

$$\text{Grado promedio de dominancia: } D = \sqrt{\frac{2\sigma^2 D}{\sigma^2 A}}$$

Donde:  $\sigma^2 A$ = varianza aditiva,  $CM_{ACG}$ = cuadrado medio de la aptitud combinatoria general,  $CM_{ACE}$ = cuadrado medio de la aptitud combinatoria específica,  $r$ = repeticiones,  $q=0$ ,  $p$ = padres,  $\sigma^2 D$ = varianza de dominancia,  $CME$ = cuadrado medio del error,  $\sigma^2 F$ = varianza fenotípica,  $\sigma^2 e$ = varianza del error,  $H^2$ = heredabilidad en sentido amplio,  $\sigma^2 G$ = varianza genética,  $h^2$ = heredabilidad en sentido estricto y  $D$ = grado promedio de dominancia.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis de varianza

El análisis de varianza combinado de los ambientes riego-sequía (Cuadro 4.1.) muestra la significancia de los cuadrados medios de las 18 variables evaluadas en el ciclo primavera 2014. Para el factor Ambientes hubo diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ) para la variable acame de tallo (AcT), mientras que existe diferencias al nivel  $P \leq 0.01$  para las variables: floración femenina (FF), intervalo polen-estigma (ASI), altura de planta (AP), aspecto de planta (AsPI), mazorca por planta (MzPL), acame de raíz (AcR), aspecto de mazorca (AsMz), diámetro de mazorca (DMz), longitud de mazorca (LMz), granos por hilera (GH) y rendimiento (REND) lo que indica que existen diferencias entre los ambientes al presentarse estas en 12 de las 18 variables registradas.

Las CRUZAS mostraron diferencias para las variables MzPL y DMz ( $p < 0.05$ ) y para floración masculina (FM), FF, AP, altura de mazorca (AM), LMz, hileras por mazorca (HMz), GH y REND ( $p < 0.01$ ). Estos resultados se atribuyen al origen diverso tanto genético como geográfico de las líneas progenitoras. Singh y Bains (1968) y Gumpber and Sohoo (1988) señalaron 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 la interacción ambiente por cruza indicaron diferencias significativas para las variables MzPI, LMz y GH.

Para los efectos de aptitud combinatoria general (ACG), los cuadrados medios indicaron que existen diferencias para MzPI ( $p < 0.05$ ) y para FM, FF, AP, AM, DMz, LMz, HMz, GH y REND ( $p < 0.01$ )

Los cuadrados medios de los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) fueron significativos para AM, LMz y REND y fueron altamente significativos para DMz y GH.

Para la interacción de aptitud combinatoria general por el ambiente únicamente existieron diferencias altamente significativas para la variable GH, mientras que para la interacción aptitud combinatoria específica se observaron diferencia significativa para la variable GH y diferencia altamente significativa en la variable acame de raíz (AcR).

Respecto a la relación ACG/ACE, se observó que los efectos de ACG (aditivos) fueron de mayor importancia en las variables FM, FF, AP, AM, AsPI, cobertura de mazorca (COB), MzPI, AcT, AsMz, porcentaje de pudrición de mazorca (%PuMz), DMz, LMz, HMz, GH y REND, en tanto que los efectos no aditivos (ACE) fueron de mayor importancia para ASI y AcR. En el caso del porcentaje de mala cobertura (%MCOB), los efectos de ACG y ACE fueron semejantes, sin distinguirse los efectos aditivos y los no aditivos; en FM se presentaron los mayores efectos aditivos al obtener la mayor la relación ACG/ACE. Lo anterior sugiere que las variables FM, FF, AP, AM, AsPI, COB, MzPI, AcT, AsMz, %PuMz, DMz, LMz, HMz, GH y REND, para las cuales los efectos aditivos fueron de mayor importancia pueden acentuarse por medio de un método de selección recurrente, en tanto que las variables ASI y AcR con efectos no aditivos pueden mejorarse por hibridación. Estos resultados coinciden con los de Vasal *et al.*, (1992) quienes encontraron que los efectos de mayor importancia fueron los aditivos en un estudio realizado en maíces tropicales del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

Respectos a los coeficientes de variación (CV), las variables ASI, AsPI, COB, %MCOB, AcT, AcR y %PuMz obtuvieron los valores más altos debido a que son variables cualitativas como el AsPI y la COB y las variables ASI, %MCOB, AcT, AcR y %PuMz son variables de proporción y porcentajes lo que



influye en un mayor rango de valores y no se ajustan a una distribución normal. El resto de las variables FM, FF, AP, AM, MzPI, AsMz, DMz, LMz, HMz, GH y REND los porcentajes de coeficiente de variación estuvieron dentro de los rangos aceptados (Falconer 1985), esto debido a que se deben a características cuantitativas.

Los valores medios para FM y FF indicaron que las cruzas en promedio se comportaron como de ciclo intermedio-tardío con 82 y 89 días, la AP y AM fueron de porte medio con 206.3 y 108.6 cm respectivamente, el intervalo polen-estigma es de medio a alto con una media de 6, debido a la influencia del estrés por sequía retardando la sincronía en las cruzas. Se presenta un buen  $AsPI=2.57$ ,  $COB=2.13$  y  $AsMz=2.33$ . La media de MzPI es aceptable con un valor de 0.89 influenciado por el ambiente sequía como en el caso de ASI al ser estas características secundarias que ayudan a la identificación de la tolerancia a sequía. Los porcentajes de %MCOB y %PuMz son aceptables con 9.1 y 10.7% respectivamente, en promedio tolerantes al  $AcT=1.9$  y  $AcR=1.1$ . Finalmente el REND en promedio fue de  $6686.0 \text{ Kg ha}^{-1}$ , el cual se considera aceptable al ser este obtenido del promedio de los dos ambientes, tanto riego normal como del estrés por sequía en floración.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios de 18 variables en 15 híbridos experimentales formados por cruce dialélica de seis progenitores, P-2014.

FV	gl	FM	FF	ASI	AP	AM	AsPI	COB	%MCOB	MzPI
ENV	1	0.2	<b>546.0**</b>	<b>564.2**</b>	<b>4681.6**</b>	51.2	<b>17.0**</b>	0.34	3.0	<b>0.212**</b>
REP(ENV)	2	0.5	53.0	48.6	1587.0	649.2	7.5	0.25	69.8	0.037
CRUZAS	14	<b>42.2**</b>	<b>42.8**</b>	6.6	<b>368.2**</b>	<b>475.3**</b>	0.45	0.15	25.4	<b>0.017*</b>
ENV*CRUZA	14	2.0	11.7	6.7	133.6	51.8	0.60	0.18	24.5	<b>0.018*</b>
ACG	5	<b>112.0**</b>	<b>96.5**</b>	3.7	<b>803.3**</b>	<b>1162.7**</b>	0.62	0.21	25.1	<b>0.024*</b>
ACE	9	3.5	13.0	8.3	126.4	<b>93.4*</b>	0.35	0.12	25.5	0.013
ACGxENV	5	2.4	6.0	2.9	137.8	23.0	0.72	0.05	14.9	0.019
ACExENV	9	1.8	14.9	8.7	131.3	67.8	0.54	0.25	29.8	0.018
EE	28	2.3	9.3	5.0	74.3	38.8	0.36	0.26	23.7	0.008
ACG/ACE		31.9	7.4	0.4	6.4	12.4	1.8	1.8	1.0	1.8
C.V. (%)		1.8	3.4	35.0	4.2	5.7	23.28	24.14	53.3	10.289
Media		82	89	6	206.3	108.6	2.57	2.13	9.1	0.89
FV	gl	AcT	AcR	AsMz	%PuMz	DMz	LMz	HMz	GH	REND
ENV	1	<b>39.0*</b>	<b>24.5**</b>	<b>4.5**</b>	1.0	<b>1.8**</b>	<b>192.3**</b>	0.2	<b>708.6**</b>	<b>78493046.2**</b>
REP(ENV)	2	40.8	2.5	0.30	55.3	0.03	2.40	0.1	11.7	5482671.01
CRUZAS	14	4.8	4.4	0.11	11.2	<b>0.08*</b>	<b>4.1**</b>	<b>2.3**</b>	<b>32.7**</b>	<b>5510161.1**</b>
ENV*CRUZA	14	8.2	5.4	0.14	17.8	0.03	<b>2.15*</b>	0.8	<b>11.3*</b>	1707393.3
ACG	5	6.2	3.7	0.14	23.2	<b>0.10**</b>	<b>6.0**</b>	<b>4.9**</b>	<b>66.1**</b>	<b>9055136.7**</b>
ACE	9	4.1	4.9	0.10	4.6	<b>0.07**</b>	<b>3.03*</b>	0.9	<b>14.1**</b>	<b>3540730.2*</b>
ACGxENV	5	7.3	1.9	0.14	14.7	0.03	2.40	1.1	<b>15.3**</b>	1883070.3
ACExENV	9	8.7	<b>7.3**</b>	0.13	19.6	0.03	2.02	0.6	<b>9.0*</b>	1609794.9
EE	28	9.0	2.8	0.13	10.3	0.02	1.04	0.5	3.3	1358917.3
ACG/ACE		1.5	0.8	1.5	5.1	1.4	2.0	5.3	4.7	2.6
C.V. (%)		159.6	158.8	15.78	30.1	3.29	6.29	5.3	5.2	17.4
Media		1.9	1.1	2.33	10.7	4.55	16.25	13.9	35.0	6686.0

\*, \*\* Valores significativos al 0.05 y 0.01 de probabilidad, FM= floración masculina, FF= floración femenina, ASI= intervalo polen-estigma, AP=altura de planta, AM= altura de mazorca, AsPI= aspecto de planta, COB= cobertura de mazorca, %MCOB= porcentaje de mala cobertura, MzPI= mazorcas por planta, AcT= acame de tallo, AcR= acame de raíz, AsMz= aspecto de mazorca, %PuMz= % de pudrición de mazorca, DMz= diámetro de mazorca, LMz= longitud de mazorca, HMz= hileras por mazorca, GH= granos por hilera, REND= rendimiento de grano.

#### **4.2. Aptitud combinatoria general (ACG)**

Los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) se presentan en el (Cuadro 4.2.). El progenitor 23 presento valor positivo altamente significativo para la variable AM y valor significativo negativo para GH, esto nos indica que este progenitor transmitirá a sus descendientes una mayor altura de planta y un menor número de GH. El progenitor 24 mostró valores altamente significativos negativos para las variables FM, FF, AM y HMz. Este progenitor aportara a sus descendencias en los cruzamientos una mayor precocidad tanto en FM como FF, así como una menor AM y menos HMz. Para el progenitor 25 se presentaron tres valores negativos significativos para las variables FM, %PuMz y REND, lo que nos indica que el progenitor 25 aporta precocidad en cuanto a FM, además de un menor %PuMz pero no transmite a sus progenies una alto valor REND sino este es negativo. Respecto al progenitor 26 existen valores positivos significativos para COB y DMz y un valor altamente significativo positivo para FM, aportando este a sus descendencias una mayor COB y DMz así como una tardía FM. En cuanto al progenitor 27 se presentaron valores positivos altamente significativos para las variables AP, AM, y HMz, además muestra un valor positivo significativo para FF, lo que indica que este progenitor aportara una mayor AP, AM y HMZ, así como una FF tardía. En lo que respecta al progenitor 28 hubo un valor negativo significativo para AP y tres valores positivos altamente significativos que corresponde a las variables FM, GH y REND, siendo este el progenitor más importante para transmitir el REND por medio de efecto aditivo, aportando además un mayor número de días a FM, así como un mayor número de GH lo que ayuda a la complementación y alto resultados respecto a REND. Los valores obtenidos para los efectos de ACG muestran una estimación del potencial de los progenitores para transmitir sus características a sus descendientes por medio de los efectos aditivos.

La estimación de los efectos de ACG, mostró que los mayores efectos significativos para rendimiento de grano (REND) corresponden a los progenitores 25 de manera negativa y progenitor 28 de manera positiva, así

mismo los efectos de ACG muestran que el progenitor 24 aporta precocidad a sus descendencias al obtener valores negativos altamente significativos para FM y FF, por lo que estos resultados indican que ambos progenitores tanto 25 como 28 con efectos significativos de ACG para rendimiento tienen una alta contribución en la expresión del rendimiento en sus progenies, y que los efectos aditivos son los más importantes.

**Cuadro 4.2. Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de seis progenitores en 18 variables evaluadas en el ciclo primavera 2014.**

LÍNEAS	FM	FF	ASI	AP	AM	AsPI	COB	%MCOB	MzPI
23	0.2	0.8	0.6	-4.1	<b>5.8**</b>	0.4	-0.1	-1.0	0.0
24	<b>-4.7**</b>	<b>-4.4**</b>	0.3	-3.9	<b>-14.1**</b>	0.0	-0.1	-0.7	0.0
25	<b>-0.7*</b>	-1.0	-0.3	1.2	-2.3	0.0	0.0	0.0	0.0
26	<b>0.5**</b>	0.3	-0.3	3.3	1.5	0.0	<b>0.2*</b>	2.2	0.0
27	3.0	<b>2.4*</b>	-0.7	<b>11.7**</b>	<b>10.9**</b>	-0.2	0.0	0.6	-0.1
28	<b>1.7**</b>	1.9	0.3	<b>-8.3*</b>	-1.8	-0.1	-0.1	-1.0	0.1
LÍNEAS	AcT	AcR	AsMz	%PuMz	DMz	LMz	HMz	GH	REND
23	0.3	0.2	0.0	-0.2	0.0	-0.9	-0.2	<b>-3.1**</b>	-2.4
24	1.1	0.4	0.0	0.1	-0.1	0.0	<b>-0.7**</b>	0.2	111.3
25	-0.4	0.3	-0.2	<b>-1.9*</b>	0.0	-0.2	-0.3	-0.1	<b>-855.1*</b>
26	-0.3	0.4	0.1	0.9	<b>0.1*</b>	0.6	0.3	0.5	-72.0
27	-0.2	-0.5	0.1	1.6	0.0	-0.2	<b>0.9**</b>	-0.7	-525.4
28	-0.4	-0.7	0.0	-0.5	0.0	0.7	-0.1	<b>3.2**</b>	<b>1343.5**</b>

\*, \*\* Valores significativos al 0.05 y 0.01 de probabilidad, FM= floración masculina, FF= floración femenina, ASI= intervalo polen-estigma, AP=altura de planta, AM= altura de mazorca, AsPI= aspecto de planta, COB= cobertura de mazorca, %MCOB= porcentaje de mala cobertura, MzPI= mazorcas por planta, AcT= acame de tallo, AcR= acame de raíz, AsMz= aspecto de mazorca, %PuMz= % de pudrición de mazorca, DMz= diámetro de mazorca, LMz= longitud de mazorca, HMz= hileras por mazorca, GH= granos por hilera, REND= rendimiento de grano.

### 4.3. Aptitud combinatoria específica (ACE)

En lo que respecta a los valores obtenidos de la ACE se observó un valor positivo significativo en la cruce 23x24 para AcR. En la cruce 23x27 se tuvo un valor significativo positivo para %MCOB, así como un valor negativo significativo para DMz y un valor negativo altamente significativo para HMz, la cruce 23x28 mostro un efecto positivo significativo de ACE para el REND, siendo esta cruce la única con un valor significativo positivo para esta variable. En la cruce 26x27 se observó un valor negativo significativo para AM. Para la cruce 26x28 se identificaron tres valores negativos significativos los cuales son para las variables FM, DMz y REND y para la cruce 27x28 se tuvo un valor negativo altamente significativo para AM.

**Cuadro 4.3. Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de 15 cruzas de maíz en 18 variables evaluadas en el ciclo de primavera 2014.**

CRUZAS	FM	FF	ASI	AP	AM	AsPI	COB	%MCOB	MzPI
23 X 24	-0.9	0.5	1.4	-0.4	-2.5	0.1	0.0	-0.9	0.0
23 X 25	1.1	1.8	0.7	-3.7	-0.7	0.1	0.0	-1.4	0.0
23 X 26	0.6	0.1	-0.5	-1.1	-0.6	0.0	0.0	-0.9	0.0
23 X 27	-0.2	-2.0	-1.8	3.0	2.8	-0.2	0.3	<b>4.8*</b>	-0.1
23 X 28	-0.6	-0.3	0.2	2.1	1.0	0.0	-0.3	-1.6	0.0
24 X 25	0.2	-0.3	-0.5	-2.7	0.7	0.0	0.1	2.6	-0.1
24 X 26	0.5	1.7	1.3	-5.5	-4.1	0.4	-0.1	-1.9	0.0
24 X 27	-0.6	-1.1	-0.5	1.4	0.4	-0.1	-0.1	-1.1	0.0
24 X 28	0.8	-0.9	-1.7	7.2	5.5	-0.4	0.0	1.3	0.0
25 X 26	-0.8	-0.7	0.1	2.4	-2.4	-0.1	-0.1	0.0	0.0
25 X 27	-0.8	-1.0	-0.2	1.3	-0.1	-0.1	-0.1	-1.6	0.1
25 X 28	0.3	0.2	-0.2	2.7	2.6	0.1	0.1	0.4	0.0
26 X 27	-1.0	-1.0	0.0	-5.3	<b>-6.5*</b>	0.2	0.0	-0.4	0.0
26 X 28	<b>-1.2*</b>	-2.1	-0.9	-1.1	0.6	-0.2	0.2	2.5	-0.1
27 X 28	0.6	3.1	2.5	-11.0	<b>-9.6**</b>	0.5	-0.1	-2.6	0.0
CRUZAS	AcT	AcR	AsMz	%PuMz	DMz	LMz	HMz	GH	REND
23 X 24	0.0	<b>2.0*</b>	0.1	-0.5	-0.1	-1.1	0.4	-2.6	-1053.4
23 X 25	-0.3	0.0	-0.1	-1.0	0.0	-0.2	-0.1	0.7	-18.8
23 X 26	-0.3	-0.8	0.1	-0.4	0.1	0.0	0.5	0.4	301.0
23 X 27	-0.3	-0.7	0.1	1.5	<b>-0.2*</b>	0.7	<b>-0.9**</b>	0.2	-683.9
23 X 28	1.0	-0.5	-0.2	0.4	0.1	0.7	0.1	1.3	<b>1455.0*</b>
24 X 25	0.6	0.7	0.2	0.8	-0.1	-0.4	0.1	-0.7	-251.8
24 X 26	1.6	-1.0	-0.3	-1.1	0.1	1.0	-0.3	3.4	676.2
24 X 27	-0.5	-1.0	-0.1	0.2	0.0	-0.3	-0.2	0.4	231.4
24 X 28	-1.7	-0.7	0.1	0.6	0.1	0.8	0.0	-0.5	397.7
25 X 26	-1.1	0.0	0.0	0.6	0.0	-0.1	-0.3	-0.5	653.5
25 X 27	0.2	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.3	-0.7	163.2
25 X 28	0.6	-0.6	0.0	-0.3	0.0	0.6	0.0	1.3	-546.0
26 X 27	-0.2	-0.8	0.0	0.0	0.0	-0.4	-0.5	0.5	17.3
26 X 28	-0.3	1.0	0.1	1.0	<b>-0.2*</b>	-1.2	-0.4	-2.7	<b>-1613.3*</b>
27 X 28	0.4	0.9	0.1	-1.7	0.1	-0.9	0.3	0.7	306.7

\*, \*\* Valores significativos al 0.05 y 0.01 de probabilidad, FM= floración masculina, FF= floración femenina, ASI= intervalo polen-estigma, AP=altura de planta, AM= altura de mazorca, AsPI= aspecto de planta, COB= cobertura de mazorca, %MCOB= porcentaje de mala cobertura, MzPI= mazorcas por planta, AcT= acame de tallo, AcR= acame de raíz, AsMz= aspecto de mazorca, %PuMz= % de pudrición de mazorca, DMz= diámetro de mazorca, LMz= longitud de mazorca, HMz= hileras por mazorca, GH= granos por hilera, REND= rendimiento de grano.

Los bajos valores y significancia de aptitud combinatoria específica se observaron debido a la superioridad manifestada por los efectos aditivos sobre los no aditivos, siendo la aptitud combinatoria general más importante que la específica. El único valor positivo significativo para rendimiento se identificó en la craza 23x28, formada esta craza por líneas de diferente población pero las dos de la UAAAN-UL, mostrando está el valor más alto de REND como se muestra en los valores medios de las variables. Principalmente el alto valor de REND de esta craza se atribuye a la aportación del progenitor 28 (AN78) con un

alto valor positivo y significativo de ACG para REND, además se debe a una complementación entre las dos líneas progenitoras AN77 y AN78 al mostrar estas valores contrarios de GH, negativo altamente significativo para AN77 y positivo altamente significativo para AN78.

#### **4.4. Promedio de variables agronómicas evaluadas en 15 cruzas de maíz en el ciclo primavera 2014.**

En el Cuadro 4.4 se presentan las medias de REND y demás variables evaluadas en 15 cruzas de maíz. La cruza 23x28 sobresalió de las demás por su capacidad rendidora al obtener un peso de 9482.2 Kg ha<sup>-1</sup> seguida de la cruza 24x28 con 8538.5 Kg ha<sup>-1</sup> siendo estas cruzas muy semejantes en sus características agronómicas con diferencias mínimas de altura de planta y mazorca entre una y otra; sin embargo, en el ASI la cruza 23x28 mostro un valor más elevado además de presentar un menor número de MzPI, mayor AcT y AcR, pero con un mejor %MCOB y AsMz.

La cruza 23x28 fue estadísticamente igual en REND a las cruzas 24x28 y 23x27, mostrando éstas los más altos valores de REND y expresión de heterosis, siendo el progenitor 28 el que aporta principalmente el REND en dos de las cruzas con la media más alta de REND. Entre estas tres cruzas se encuentran involucradas las líneas de origen de la UAAAN-UL (AN77, AN82 y AN78) y una del CIMMYT (CML505).

Estas tres cruzas mostraron un buen comportamiento en los dos ambientes evaluados obteniendo un alto rendimiento comparado con los demás materiales involucrados. Dicho comportamiento indica que se puede avanzar la selección y continuar con la evaluación de las mismas cruzas con la finalidad de seleccionar aquellas con un alto potencial de REND y estabilidad del mismo en ambos ambientes.

**Cuadro 4.4. Valores medios de 18 variables en 15 cruzas evaluadas en el ciclo de primavera 2014.**

CRUZAS	FM	FF	ASI	AP	AM	AsPI	COB	%MCOB	MzPI
23 X 28	84	92	8	196.1	108.2	2.8	1.8	5.5	0.93
24 X 28	81	86	5	201.3	98.2	2.0	2.0	8.7	1.01
23 X 27	88	90	5	216.9	128.1	2.5	2.0	13.5	0.72
24 X 26	79	87	8	200.1	91.9	3.0	2.1	8.7	0.97
23 X 26	84	90	6	204.5	115.4	3.0	2.3	9.4	0.89
25 X 28	84	90	6	202.0	107.1	2.5	2.1	8.5	0.94
24 X 27	81	97	6	215.5	105.9	2.3	2.0	7.9	0.85
25 X 26	82	88	6	213.2	105.5	2.5	2.3	11.3	0.85
26 X 28	84	89	6	200.3	108.9	2.3	2.5	12.8	0.89
26 X 27	87	93	6	226.6	127.6	2.3	2.4	12.4	0.87
23 X 25	83	91	8	199.8	111.4	3.0	2.0	6.1	0.90
23 X 24	77	86	9	198.8	97.8	3.0	2.0	6.5	0.92
24 X 25	78	84	9	200.9	92.9	2.8	2.1	11.0	0.85
27 X 28	86	86	6	197.9	113.6	2.5	2.4	6.7	0.91
25 X 27	84	90	5	220.6	117.2	2.3	2.0	8.2	0.89
MG	82	89	6	206.3	108.6	2.57	2.13	9.1	0.89
DMS	2.19	4.41	3.24	12.48	9.01	0.86	0.74	7.05	0.13
CRUZAS	AcT	AcR	AsMz	%PuMz	DMz	LMz	HMz	GH	REND
23 X 28	1.7	0.8	2.1	10.4	4.7	15.9	14	36	9482.2
24 X 28	0.9	0.0	2.4	10.8	4.5	17.7	13	38	8538.5
23 X 27	1.6	0.0	2.5	13.6	4.3	15.8	15	38	7810.9
24 X 26	4.3	0.9	2.1	10.5	4.7	17.9	13	39	7401.5
23 X 26	1.5	0.8	2.5	11.0	4.8	16.0	15	33	6912.7
25 X 28	1.6	0.0	2.1	8.0	4.5	17.4	14	39	6628.4
24 X 27	2.3	0.0	2.5	12.6	4.5	15.8	14	35	6503.4
25 X 26	0.0	1.7	2.3	10.3	4.7	16.6	14	35	6412.4
26 X 28	0.8	1.7	2.5	12.1	4.5	16.4	14	36	6344.2
26 X 27	1.5	1.8	2.5	13.2	4.7	17.0	16	34	6071.3
23 X 25	1.4	1.6	2.0	10.1	4.7	14.9	13	33	5809.8
23 X 24	3.3	3.6	2.4	10.1	4.4	14.2	14	30	5741.6
24 X 25	3.2	0.0	2.4	9.7	4.3	15.6	13	34	5690.4
27 X 28	2.7	2.4	2.4	7.6	4.5	16.8	14	31	5474.4
25 X 27	1.5	0.8	2.3	10.3	4.5	15.9	15	33	5468.8
MG	1.9	1.1	2.33	10.7	4.55	16.25	13.9	35.0	6686.0
DMS	4.35	2.43	0.53	4.64	0.21	1.47	1.06	2.62	1688.1

MG= media general, DMS= diferencia mínima significativa al 0.5 de probabilidad, FM= floración masculina, FF= floración femenina, ASI= intervalo polen-estigma, AP=altura de planta, AM= altura de mazorca, AsPI= aspecto de planta, COB= cobertura de mazorca, %MCOB= porcentaje de mala cobertura, MzPI= mazorcas por planta, AcT= acame de tallo, AcR= acame de raíz, AsMz= aspecto de mazorca, %PuMz= % de pudrición de mazorca, DMz= diámetro de mazorca, LMz= longitud de mazorca, HMz= hileras por mazorca, GH= granos por hilera, REND= rendimiento de grano.

#### 4.5. Parámetros genéticos

Se estimaron los componentes genéticos para cada una de las variables medidas en la investigación (Cuadro 4.5). La varianza aditiva ( $\sigma^2_A$ )

predomino en las variables de FM, FF, AP, AM, HMz y GH. La ausencia de varianza aditiva en las variables ASI y AcR, produjo un valor negativo el cual no permitió estimar heredabilidad en sentido estricto. Hallauer y Miranda (1981) señalan que una de las posibles razones de una falta de varianza aditiva, es el origen de los progenitores que forman los híbridos, ya que cuando provienen de una sola población heterocigótica o de poblaciones emparentadas, hay baja probabilidad de que sobresalga este tipo de acción génica y, por consecuencia, la presencia de ACG.

Valores altos de varianza de dominancia ( $\sigma^2_D$ ) se presentaron MzPI, DMz, LMz y REND. Estos resultados se atribuyen a la diversidad en la constitución genética de las líneas, que al aparearse forman individuos de tipo heterocigótico, que reduce los efectos aditivos. Por tal razón, es de suponerse que todas las variaciones están estimadas con base en el componente genético determinado como varianza de dominancia que de acuerdo con Shull (1908), Hull (1945), De La Loma (1954) y Hallauer y Miranda (1981) el mayor vigor híbrido se debe a la presencia en el cigote de un número mayor de genes dominantes que en los progenitores, por reunirse los genes dominantes aportados por éstos para ser expresados de esta manera los efectos de la sobredominancia en la progenie. Esto indica que hay una mayor frecuencia de genes con efectos de categoría no aditiva para las variables mencionadas.

En lo que respecta a la heredabilidad en sentido estricto ( $h^2$ ), COB, AcT, AsMz y DMz presentaron valores que oscilaron de 0 a 0.25 dando como resultado una baja heredabilidad. Una heredabilidad media con valores de 0.25 a 0.50 se observó en AsPI, MzPI, %PuMz, LMz y REND. Variables en las cuales se reflejó una alta heredabilidad, con valores de 0.50 a 1, fueron FM, FF, AP, AM, HMz y GH. Estos valores indican que la varianza aditiva es más importante en estos caracteres. En cambio, en los caracteres con baja heredabilidad influyen otros componentes como el ambiental y estos tendrán mayor importancia, lo que hace más difícil la mejora genética.



Referente al grado promedio de dominancia (D) las variables que obtuvieron valores menores de uno fueron FM, FF, AP, AM, HMz y GH, lo cual indica que estas variables pueden ser mejoradas a través de métodos de mejoramiento por selección recurrente dado su relación con la alta varianza aditiva que presentan de igual manera en este experimento.

**Cuadro 4.5. Parámetros genéticos de 18 variables evaluadas en 15 cruzas de maíz en el ciclo de primavera 2014.**

VARIABLES	$\sigma^2_A$	$\sigma^2_D$	$\sigma^2_F$	H <sup>2</sup>	h <sup>2</sup>	D
FM	27.122	0.603	28.878	0.960	0.939	0.21
FF	20.883	1.836	27.367	0.830	0.763	0.42
ASI	0.000	1.628	4.140	0.393	0.000	0.00
AP	169.217	26.057	232.433	0.840	0.728	0.55
AM	267.325	27.304	314.025	0.938	0.851	0.45
AsPI	0.067	0.000	0.245	0.272	0.272	0.00
COB	0.024	0.000	0.155	0.152	0.152	0.00
%MCOB	0.000	0.902	12.769	0.071	0.000	0.00
MzPI	0.003	0.002	0.009	0.546	0.298	1.29
AcT	0.514	0.000	5.031	0.102	0.102	0.00
AcR	0.000	1.020	2.437	0.419	0.000	0.00
AsMz	0.011	0.000	0.079	0.146	0.146	0.00
%PuMz	4.672	0.000	9.826	0.475	0.475	0.00
DMz	0.008	0.024	0.043	0.735	0.176	2.52
LMz	0.743	0.993	2.258	0.769	0.329	1.64
HMz	0.993	0.194	1.457	0.814	0.681	0.63
GH	13.000	5.401	20.050	0.918	0.648	0.91
REND	1378601.625	1090906.450	3148966.725	0.784	0.438	1.26

$\sigma^2_A$ = Varianza aditiva,  $\sigma^2_D$ = Varianza de dominancia,  $\sigma^2_F$ = Varianza fenotípica, H<sup>2</sup>=Heredabilidad en sentido amplio, h<sup>2</sup>= Heredabilidad en sentido estricto, D= Grado promedio de dominancia.

Las variables con un grado promedio de dominancia mayores a uno y que mostraron dominancia fueron MzPI, DMz, LMz y REND, relacionándose estas con una heredabilidad de media a baja y una  $\sigma^2_D$  más importante que la  $\sigma^2_A$ ; de la misma forma, Márquez (1993) indica que los valores mayores a 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. Estos resultados muestran que se puede explotar los efectos de dominancia de las líneas probadas para el desarrollo de híbridos.

## V. CONCLUSIÓN

De los resultados obtenidos de la investigación se puede concluir que: El ambiente afectó significativamente las variables de acame de tallo (AcT), floración femenina (FF), intervalo polen-estigma (ASI), altura de planta (AP), aspecto de planta (AsPI), mazorca por planta (MzPL), acame de raíz (AcR), aspecto de mazorca (AsMz), diámetro de mazorca (DMz), longitud de mazorca (LMz), granos por hilera (GH) y rendimiento (REND) lo que nos indica que existen diferencias entre los ambientes riego normal y sequía al presentarse estas en 12 de las 18 variables registradas principalmente estas diferencias en el REND.

El REND que es la característica principal que se busca fue la que se manifestó de manera significativa, no solo mostrando diferencias en el ambiente, sino que mostró diferencias para las cruzas y los efectos tanto de aptitud combinatoria general como de aptitud combinatoria específica.

Respecto a los efectos de aptitud combinatoria general, estos mostraron que los mayores efectos significativos para rendimiento de grano (REND) corresponden a los progenitores 25 de manera negativa y progenitor 28 de manera positiva, así mismo los efectos de ACG muestran que el progenitor 24 aporta precocidad a sus descendencias al obtener valores negativos altamente significativos para FM y FF, por lo que estos resultados indican que ambos progenitores tanto 25 como 28 con efectos significativos de ACG para rendimiento tienen una alta contribución en la expresión del rendimiento en sus progenies, y que los efectos aditivos son los más importantes y que podrían ser utilizados estos progenitores tanto en la hibridación como en un método de selección recurrente.

Los bajos efectos de ACE se muestran debido a la superioridad manifestada por los efectos aditivos sobre los no aditivos siendo la ACG más importante que la ACE.

Principalmente el alto valor de REND en los efectos de ACE de la cruce 23x28 se atribuye a la aportación del progenitor 28 (AN78) con un alto valor positivo y significativo de ACG para REND, además se debe a una complementación entre las dos líneas progenitoras AN77 y AN78 al mostrar estos valores contrarios de GH, negativo altamente significativo para AN77 y positivo altamente significativo para AN78.

La cruce 23x28 que fue la que mayor promedio de REND obtuvo se manifestó estadísticamente igual en cuanto a REND a las cruces 24x28 y 23x27, mostrando estas tres cruces los más altos valores de REND y expresión de heterosis, siendo el progenitor 28 el que aporta principalmente el REND en dos de las cruces con la media más alta de REND. Entre estas tres cruces se encuentran involucradas las líneas de origen de la UAAAN-UL (AN77, AN82 y AN78) y una del CIMMYT (CML505). La cruce 23x28 formada por las líneas AN77xAN78, la cruce 24x28 conformada por CML505xAN78 y la cruce 23x27 generada por AN77xAN82.

La varianza aditiva ( $\sigma^2_A$ ) predominó en las variables de FM, FF, AP, AM, HMz y GH lo que nos permite acentuar estas características agronómicas deseables a través de un método de selección recurrente para explotar al máximo la selección de estas características en busca de un mejor rendimiento.

Para la varianza de dominancia ( $\sigma^2_D$ ) esta se presentó en las variables de MzPI, DMz, LMz y REND. Estos resultados se pueden atribuir a la diversidad en la constitución genética de las líneas, que al aparearse forman individuos de tipo heterocigótico, que reduce los efectos aditivos. Por tal razón, es de suponerse que todas las variaciones están estimadas con base en el componente genético determinado como varianza de dominancia mostrando estas mismas características un grado de promedio de dominancia por encima de uno.

El progenitor que mostró los efectos aditivos más importantes fue el progenitor 28 principalmente para rendimiento y se observaron además en este

efectos no aditivos de igual manera para rendimiento, lo cual nos permite usar esta línea progenitora tanto en la formación de híbridos como en un método de selección recurrente ya que posee características aditivas importantes y características no aditivas que se ven reflejadas principalmente en el rendimiento manifestado en un buen promedio de rendimiento a combinarse los ambientes de riego-sequía.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- Allard R. W. 1980. Principios de la mejora genética de las plantas. Cuarta edición. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. 498 p.
- Alvarado L. 1987. Efectos génicos y heterosis en cultivares tropicales de maíz. Memorias de la 33ra Reunión Anual. PCCMCA. Guatemala. p. 80-99.
- Balderrama C., S., A. Mejía C., F. Castillo G. y A. Carballo C. 1997. Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de maíz nativas de Valles Altos de México. Rev. Fitotec. Mex. 20: 137-147.
- Banziger, M., G.O. Edmeades, D. Beck and M. Mellón. 2000. Breeding for drought and Nitrogen stress tolerance in maize: from theory to practice. México, D.F.; CIMMYT. 68p.
- Banziger, M., G.O. Edmeades, D. Beck y M. Bellon. 2012. Mejoramiento para aumentar la tolerancia a sequía y a deficiencia de nitrógeno en el maíz: De la teoría a la práctica. México, D.F.: CIMMYT.
- Becker, W. A. 1986. Manual de genética cuantitativa. Primera edición en español. Academic Enterprises. Pullman. WA. U.S.A. p 174.
- Beltrán F. J, J. M Ribaut, D Beck, D González de León. 2003. Genetics diversity, specific ability, and heterosis in tropical maize under stress and non; stress environments. Crop Sci. 4: 707-806.
- Bolaños, J.; Edmeades, G. 1996. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. Developing drought- and low N-tolerant maize. Proceedings of a Symposium. CIMMYT, El Batán, México. G. O. Technical Editors. pp. 355-368.
- Bolaños., J. y G.O. Edmeades. 1996. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. Field Crops Research 48:65-80.
- Brauer H.O. 1981. Fitogenética Aplicada. ELSA. Primera impresión. México. 518 p.

- Campos, H., M. Cooper, G.O. Edmeades, C. Loffler, J.R. Schussler, and M. Ibanez. 2006. Changes in drought tolerance in maize associated with fifty years of breeding for yield in the U.S. Corn Belt. *Maydica*. 51:369-381.
- Castañón N G, L Latournerie M, M Mendoza E. 2005. Macro de SAS-IML para analizar los diseños II y IV de Griffing. *Univ. Ciencia* 21:27-35.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) 1987. CIMMYT. Hechos y tendencias mundiales relacionadas con el maíz 1986: Aspectos económicos en la producción de semilla de variedades comerciales de maíz en los países en desarrollo. México p. 210-223.
- Chávez A. J. L. 1993. Mejoramiento de Plantas I. segunda Edición. Editorial Trillas. México. p 136.
- Chávez A. J. L. y López E. 1995. Mejoramiento de plantas I. Editorial Trillas. México. p. 167.
- Christie B. R. and V. I. Shattuck. 1992. The diallel cross: desing, analysis, and use for plant breeding. *Plant Breeding Reviews* 9: 9-35.
- Claassen, M.M. y R.H. Shaw. 1970. Water deficit effects on corn. II. Grain components. *Agronomy Journal* 62: 652655.
- Cockerham, C. Clark. 1963. Estimation of genetic variances. National Academy of Sciences National Research Council, Publication.
- Comstock R. E Y H. F. Robinsón. 1948. The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degrees of dominance. *Biometrics*. 4:254-266.
- Comstock R. E. y R. N. Moll. 1963. Genotype environment interactions. *Simposium on stadistical genetics and plan breeding. Was-NPC pub.* Pp. 164-165.
- Cooper, M., and Hammer, G.L. 1996. *Plant Adaptation and Crop Improvement*. CAB International/ IRR/ ICRISAT, Wallingford, UK.

- Córdova, H. S. Y S. K. Vasal. 1996. Estrategias en el desarrollo y mejoramiento del germoplasma del maíz orientado a la agricultura sustentable.
- De la Cruz, P.G, E. De la Cruz, L. E, Castañon N. R. Osorio, O. N. P. Brito, M. A. Lozano-del Río, López, N. U. 2009. Aptitud combinatoria general y específica de germoplasma tropical de maíz Tropical and Subtropical. *Agroecosystems*, vol. 10, núm. 1, pp. 101-107.
- De la Loma J. L. 1975. *Genética General y Aplicada*. Editorial UTEHA. México.
- Denmead, O.T. y R.H. Shaw. 1960. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agronomy Journal* 52:272-274.
- Dudley, J.N. and R.H. Moll. 1969. Interpretation and use of estimates of heritability and genetic variance in plant breeding. *Crop Sci.* 9:257-262.
- DuPlessis, D.P. y F.J. Dijkhuis. 1967. The influence of time lag between pollen shedding and silking on the yield of maize. *South African Journal of Agricultural Science* 10:667-674.
- Eberhart, S. A., and C. O. Gardner. 1966. A general model for genetic effects. *Biometrics* 22:864-881.
- Espinoza B. A. 1975. Diseños y análisis de los experimentos de cruza dialélicas. Pp. 80-83.
- Falconer D. S. 1985. *Introducción a la genética cuantitativa*. Trad. De la 1a. ed. En inglés por Fidel Márquez Sánchez. México, continental. P. 430.
- Fernández, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant tolerance. *Adaptation of food crops to temperature and water stress. Proceedings of an International Symposium*. Taiwan, C. George Kuo, Editor Pp. 257-270.
- Fischer, K. S.; Johnson, E.; Edmeades, G. 1984. Mejoramiento y selección de maíz tropical para incrementar su resistencia a la sequía. Centro

- Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), El Batán, México. 20 p.
- Fischer, R. A.; Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29:897-912.
- Fuentes M. L., J. L. Larios, C. Quemé, Pérez y S. Catellanos. 1997. Evaluación regional de cruza híbridas y predicción de híbridos de maíz de grano blanco. CIMMYT-PRM. Guatemala. p. 32.
- Grant, R.F., B.S. Jackson, J.R. Kiniry y G.F. Arkin. 1989. Water deficit timing effects on yield components in maize. *Agronomy Journal* 81:61-65.
- Griffing, B. 1956. Concept of general specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9: 463-493.
- Guei, R. G. and C.E. Wassom (1992). Inheritance of some drought adaptative traits in maize: I. Interrelationships between Yield, flowering and ears per plant. *Maydica* 37:157-164.
- Gumpber, R.K. and M.S. Sohoo, 1988. Metroglyph analysis in Persian clover (*Trifolium resupinatum*). *Indian J. Agric. Sci.*, 58: 958–9.
- Gutiérrez del R. E., A. Palomo G., A. Espinoza B. E. de la Cruz L. 2002. Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la Comarca Lagunera, México. *Rev. Fitotec. Méx.* 25 (3): 271-277.
- Hall, R., 1988. Effects of drought stress on corn production *Agron J.* 3 (20): 1-4.
- Hallauer R. A. and Miranda F. O. 1981. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. The Iowa State University Press Ames, Iowa, 50010. First Edition. p. 468.
- Hallauer R. A. and S. A. Eberhart. 1976. Reciprocal full – sib selection. *Crop Sci.* 10: 315-316.
- Hallauer, A.R. 1993. *Maize Breeding Proceedings of the Fifth ASIAN Regional Maize workshop* 5: 160:178.



- Hayes H. K. 1952. Development of the heterosis concept. Edit John W. Low. Sta Coll Press. Pp. 49-60.
- Henderson C., R. 1963. Selection index and expected genetic advance. In: statistical genetics and plant breeding. NAS-NRC. Publication 982: 141-163.
- Hetrick, B.A.D., D.G. Kitt y G.T. Wilson, 1987. Effects of drought stress on response in corn, sudan and big bluestem to *Glomus estunicatum*. *New Phytol.* 105(3):403-410.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology.* 24:519-570.
- INEGI (Instituto Nacional de Geografía y Estadística). 2008. Atlas nacional interactivo de México. [En línea]. Estado de Coahuila. <http://www.inegi.org.mx>. [Consultado 20 enero 2014].
- Jugenheimer, W. R. 1985. Com improvement, seed production and uses. Malabar, FL, USA, Robert E. Krieger Publishing.
- Jugenheimer, W. R. 1990. Maíz: variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Trad. Piña, G. editorial LIMUSA. Cuarta reimpresión. México. 841pp.
- Lamkey, K.R and A.R. Hallauer 1987. Heritability estimated from recurrent selection experiments in maize. *Maydica* 32:61-78.
- Livera M. M. 1992. Micrometeorología aplicada al fitomejoramiento: su enseñanza en el CP. XIV Congreso Nacional de Fitogenética SOMEFI. Tuxtla Gutiérrez, Chis. P. 50.
- Luchsiner 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.
- Ludlow, M. M.; Muchow, R. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in a water-limited environments. *Adv. Agron.* 43:107-153.

- Magari R, Kang M.S.1993. Genotype selection via a new yield-stability statistic in maize yield trials. *Euphytica* 70, 105-111.
- Maiti, R.K. and P. Wesche-Ebeling. 1998. *Maize Science*. Pages 132-133. Science Publishers, Inc. Enfield, New Hampshire.
- Malacarne M. F. y F. M San Vicente G. 2003. Patrones heteróticos de líneas tropicales blancas de maíz. *Crop Sci.* 39: 368-371.
- Márquez S. F. 1988. *Genotecnia vegetal: Métodos, teoría, resultados*. Tomo II. Primera edición. Editorial AGTESA. México. pp. 563-665.
- Márquez S. F. 1992. La interacción genético-ambiental en genotecnia vegetal. *Memorias. Simposio Internacional Genotipo-Ambiente en Genotecnia Vegetal*. SOMEFI. Guadalajara, Jal. México. pp. 1-27.
- Martínez G. A. 1983. *Diseños y análisis de experimentos de cruzas dialélicas*. Segunda edición. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. p. 252.
- Matsuoka, Y., Y. Vigouroux, M.M. Goodman, J. Sánchez, E. Buckler et al. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99: 6080-6084.
- Matzinger D. F. 1963. Experimental estimates of genetics parameters and their applications in self-fertilizing plants. In W.D. Hanso and H.F. Robinson (eds). *Statistical genetics and plant breeding*. Nas-Nrc No. 982.
- Matzinger, D F, and Kempthorne, O. 1956. The modified diallel table with partial inbreeding and interactions with the environment. *Genetics*, 41, 822-833.
- McWilliams, D. 2002. *Drought Strategies for Corn and Grain Sorghum*. New Mexico State University
- Meredith W.R. Jr. 1984. *Quantitative genetics*. In R. R. J. Kohel and C. F. Lewis (eds). *Cotton Amer. Soc. Agron. Monograph 24* Madison, Wis. USA.

- Mladenovic, S., Trifunovic, S., Drinic, G., Kostantinov, K. 2002. Genetic divergence and its correlations to heterosis in maize as revealed by SSR-based markers. *Maydica* 47:1-8.
- Morales D., 1993. Caracterización y evaluación de 25 genotipos de maíz (*Zea mays* L.) recolectados en Nicaragua. Tesis de Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria (UNA). Managua, Nicaragua. 55 p.
- Morales R., M. M., J. Ron P., J. J. Sánchez G., J. L. Ramírez D., L. Cruz L., S. Mena M., y S. Hurtado P. 2007. Relaciones fenotípicas y heterosis entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 30: 285-294.
- Morata M. M., D.A. Presello, M. Del P. Gonzalez & E. Frutos. 2003. Aptitud combinatoria entre líneas de maíz resistentes a mal de rio cuarto. *Fitopatol. Bras.* 28(3): 236-244.
- Muñoz, A.; Rodríguez, J. L. 1988. Models to evaluate drought resistance. Abstracts international conference on dryland farming, Amarillo/Bushland, Texas. U. S. A. p. 60.
- Muñoz, A.; Rodríguez, J. L. 1988. Models to evaluate drought resistance. Abstracts international conference on dryland farming, Amarillo/Bushland, Texas. U. S. A. p. 60.
- NeSmith, D.S. y J.T. Ritchie. 1992. Effects of soil water-deficits during tassel emergence on development and yield components of maize (*Zea mays* L.). *Field Crops Research* 28:251-256.
- Peña, R. A.; Martín Del Campo, S. V. 1993. Selección de líneas y respuesta de variedades de maíz bajo condiciones ambientales diferentes. *Rev. Fitot. Mex.* 16(1):47-56.
- Poehlman J. M. 1987. Mejoramiento genético de las cosechas. Primera edición. Editorial LIMUSA. México. p 453.
- Preciado, O.R.E., Terrón I., A.D., Gómez M., N.O., Robledo G., E.I. 2005. Componentes genéticos en poblaciones heteróticamente contrastantes

maíz de origen tropical y subtropical. *Agronomía Mesoamericana* 16:145-151.

Reyes, D.L., Molina, J.D.G., Oropeza, M.A.R., Moreno, E.C.P. 2004. Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27:49-56.

Rincón S. F. 1997. Calidad fisiológica de semillas y comportamiento agronómico de líneas de maíz. XVIII Congreso Nacional, SOMEFI. Sociedad Mexicana de Fitogenética 2000. p279.

Robinson, H.F. Y C.C. Cockerham. 1965. Estimación y significado de los parámetros genéticos. Trad. por M. Gutiérrez Gutiérrez. *Fitotecnia Latinoamericana*. 2(1): 23-38.

Sánchez G., J. J., M. M. Goodman, and C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54: 43-59.

Schussler, J.R. y M.E. Westgate. 1995. Assimilate flux determines kernel set at low water potential in maize. *Crop Science* 35:1074-1080.

Sierra, M.M. Cano, R.O., Palafox, C.A., Castañón, N.G. y Rodríguez M.F. 2000. Mejoramiento de maíz tropical para tolerancia a sequía. En: *Memorias del XVIII Congreso Nacional de Fitogenética celebrado del 15-20 de octubre del 2000 en Irapuato Gto. México.* P141.

Silva S. R. 1999. Heredabilidad y correlaciones fenotípicas en líneas avanzadas de trigo. XVIII Congreso Nacional SOMEFI. Sociedad Mexicana de Fitogenética 2002. P246.

Sinclair, T.R., J.M. Bennet y R.C. Muchow, 1990. Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field grown maize. *Crop Science* 30 (3):690-693.

Sinclair, T.R., J.M. Bennett y R.C. Muchow, 1990. Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field grown maize. *Crop Science* 30 (3):690- 693 .

- Singh, R. B. and Bains, S. S. 1968. Genetic divergence for ginning outturn and its components in upland cotton. *Ind. J. Gen. and Plant Breed* 28:262-268.
- Sivorí, M.F., E.R. Montaldi y O.H. Caso, 1980 *Fisiología Vegetal*, Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires. Rep. de Argentina.
- Sprague G., F and L. Tatum, A. 1942. A general vs specific combining ability in single crosses of corn. *J. Am. Soc. Agron.* 34:923-932.
- Thakur, P.S.; y Rai, V.K., 1984. Water stress effects on maize: growth responses of two differentially drought sensitive maize cultivars during early stage of growth. *Indian J. Ecol.* 11(1): 92-98.
- Valdez S. A., C. H. De León, Z. G. Martínez y G. D. Sámano. Evaluación del potencial genético en líneas de maíz del CIMMYT y cruces simples del instituto mexicano del maíz. p. 280.
- Vasal, S.K., Srinivasan, G., Beck, D.L., Crossa, J., Pandey, S., de León, C. 1992. Heterosis and combining ability of CIMMYTs tropical late white maize germplasm. *Maydica* 37:217- 223.
- Westgate, M.E. 1997. Physiology of flowering in maize: identifying avenues to improve kernel set during drought. In G.O. Edmeades, M. Banziger, H.R. Mickelson y C.B. Peña-Valdivia (eds.), *Developing Drought and Low N-Tolerant Maize. Proceedings of a Symposium, March 25-29, 1996, CIMMYT, El Batán, México, 136-141. México, D.F.: CIMMYT.*
- Westgate, M.E. y J.S. Boyer. 1986. Reproduction at low silk and pollen water potentials in maize. *Crop Science* 26:951-956.
- Westgate, M.E. y P. Bassetti. 1991. Heat and drought stress in corn: what really happens to the corn plant at pollination? In D. Wilkinson (ed.), *Proc. 45th Annual Corn and Sorghum Res. Conf., Chicago, Dec. 5-6. 1990, 12-28. Washington D.C.: ASTA.*
- Westgate, M.E., M.E. Otegui, and F.H. Andrade. 2004. Physiology of the corn plant in *Corn: Origin, History, Technology, and Production*, C.W. Smith,

J. Betran and E.C.A. Runge, (eds.) John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey.

- Yan W. and Hunt L. A. 2002. Biplot analysis of diallel data. *Crop Sci.* 42: 21-30.
- Yang, R.C., and R.J. Baker. 1999. Genotype-environment interactions in two wheat crosses. *Crop Sci.* 31:83-87.
- Yudong, Z. Manjit, S. K and Kendall R.2005. DIALLEL-SAS05 *Agron. J.* 2005. 97:1097–1106.
- Zhang, J., U. Schurr y W.J. Davies. 1987. Control of stomatal behaviour by abscisic acid which apparently originates in the roots. *Journal of Experimental Botany* 38:1174-1181.
- Zhang, Y. Manjit S. Kang and Kendall R. Lamkeya.2005. DIALLEL-SAS05. *Agron. J.*2005. 97:1097–1106. doi:10.2134/agronj2004.
- Zinselmeier, C., J.R. Schussler, M.E. Westgate y R.J. Jones. 1995. Low water potential disrupts carbohydrate metabolism in maize ovaries. *Plant Physiology* 107:385-391.