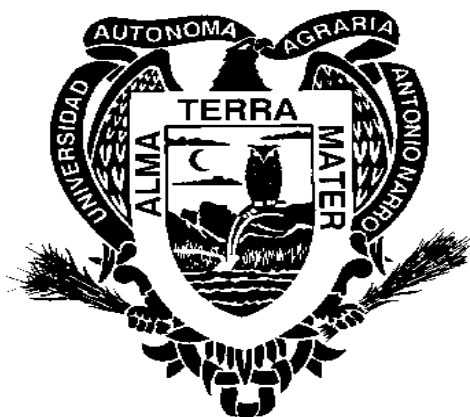


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**ACCIÓN GÉNICA EN LÍNEAS CONTRASTANTES DE MAÍZ (*Zea mays* L.)**

**POR  
EMMANUEL DE JESÚS MARTÍNEZ SIGALA**

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

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**TORREÓN, COAHUILA**

**MARZO DE 2016**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

ACCIÓN GÉNICA EN LÍNEAS CONTRASTANTES DE MAÍZ (*Zea mays* L.)

POR  
EMMANUEL DE JESÚS MARTÍNEZ SIGALA

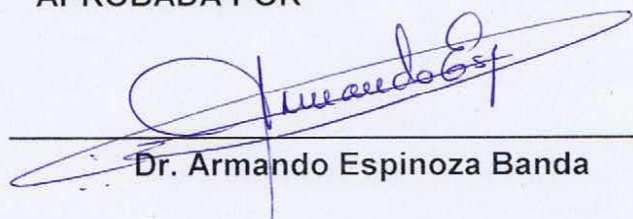
TESIS

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


INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR

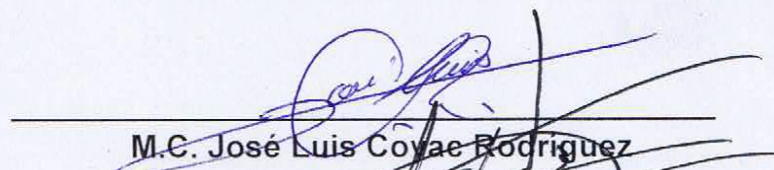
PRESIDENTE:

  
Dr. Armando Espinoza Banda

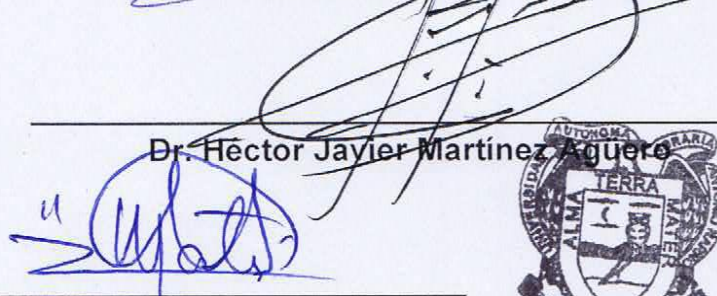
VOCAL:

  
Dra. Oralia Antuna Grijalva

VOCAL:

  
M.C. José Luis Coyac Rodríguez

VOCAL SUPLENTE:

  
Dr. Héctor Jayier Martínez Agüero

  
ME. VICTOR MARTINEZ CUETO  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERA AGRONÓMICAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

ACCIÓN GÉNICA EN LÍNEAS CONTRASTANTES DE MAÍZ (*Zea mays* L.)

POR  
EMMANUEL DE JESÚS MARTÍNEZ SIGALA

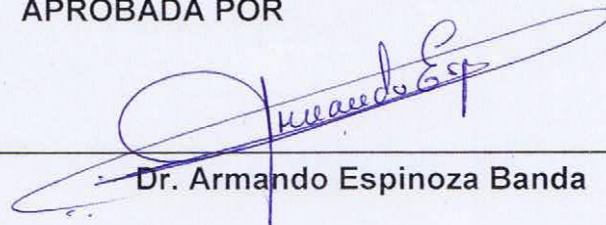
TESIS

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:

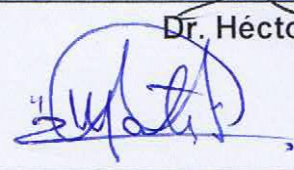


Dra. Oralia Antuna Grijalva

ASESOR:

  
M.C. José Luis Coyac Rodríguez

ASESOR:

  
Dr. Héctor Javier Martínez Agüero



ME. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERA AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA

MARZO DE 2016

## AGRADECIMIENTO

A **DIOS** principalmente por darme la vida y tantas bendiciones como tener una gran familia. Protegerme y guiarme por el buen camino y permitirme lograr cada uno de mis objetivos al lado de mis seres queridos.

A la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO** por aceptarme como alumno y darme la oportunidad de culminar mis estudios dentro de sus instalaciones y poder prepararme profesionalmente para enfrentar cualquier obstáculo que se me pueda presentar en un futuro.

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 colaborar en cada una de las labores dentro del programa de trabajo y adquirir un mayor conocimiento y experiencia.

Al **DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA** por brindarme la oportunidad y confianza para poder participar en el proyecto para la formulación de mi trabajo de tesis, y transmitirme sus conocimientos y experiencias.

***A MIS ASESORES***

*Dra. Oralia Antuna Grijalva*

*M.C. José Luis Coyac Rodríguez*

*Dr. Héctor Javier Martínez Agüero*

*Por formar parte de mi trabajo de tesis y así mismo por su atención y tiempo para hacer observaciones que me ayudaron a mejorarlo.*

*Al **ING. JUAN FRANCISCO MAGALLANES MENDEZ** por apoyarme y compartirme sus conocimientos en el programa de Agricultura de Conservación durante mi estancia profesional dentro de las instalaciones de CIMMYT.*

*A la **SRA. MA. ARCELLA ORTEGA AGUIRRE** por la confianza, tiempo y apoyo brindado a lo largo de mi carrera.*

***!!!MUCHAS GRACIAS A TODOS!!!!***

## DEDICATORIA

### A MIS PADRES

*Guillermo Martínez Álvarez y Martha Graciela Sigala Rodríguez*

*Por todo el apoyo incondicional, su gran confianza y cariño, por guiarme por el buen camino, enseñarme buenos principios y educarme de la mejor manera no solo como profesional si no como una mejor persona, por esos sabios consejos y palabras de aliento para poder lograr mis objetivos y siempre estar con migo apoyándome en todos los sentidos, gracias por todo padres.*

### A MIS HERMANOS

*Maurya, Edna, Fabiola, Guillermo, Rafael*

*Por todo el apoyo confianza y cariño, por esa gran unión y haber colaborado en mi proyecto de tesis, por esos consejos de motivación para superarme y siempre acompañarme en todos los sentidos, muchas gracias hermanos.*

### A MI NOVIA

*Thania Estefanía García Ortega*

*Primeramente por estos hermosos seis años que ha permanecido a mi lado, siempre brindándome apoyo en buenos y malos momentos, compartiendo alegrías y tristezas, por aconsejarme de una mejor manera para poder superarme y cumplir mis metas.*



# INDICE

AGRADECIMIENTO.....	i
DEDICATORIA.....	iii
INDICE.....	iv
INDICE DE CUADROS .....	vi
I.INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Objetivo general.....	3
1.2 Objetivo específico .....	3
1.3 Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1 Mejoramiento genético .....	4
2.2 Líneas .....	4
2.3 Línea pura .....	4
2.4 Hibridación .....	5
2.4.1 Híbrido simple .....	5
2.4.2 Híbrido trilineal .....	6
2.4.3 Híbrido doble .....	6
2.5 Interacción genotipo ambiente .....	6
2.6 Acción génica .....	7
2.7 Aptitud combinatoria .....	8
2.7.1 Aptitud combinatoria general .....	9
2.7.2 Aptitud combinatoria específica.....	10
2.8 Diseños genéticos.....	11
2.8.1 Diseño Carolina del Norte I .....	11
2.8.2 Diseño Carolina del Norte II .....	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	13
3.1 Localización geográfica .....	13
3.2 Material genético .....	13

<b>3.3 Descripción de la parcela experimental .....</b>	<b>14</b>
<b>3. 4 Siembra.....</b>	<b>14</b>
<b>3.5 Manejo agronómico .....</b>	<b>15</b>
<b>3.5.1 Fertilización.....</b>	<b>15</b>
<b>3.5.2 Riego.....</b>	<b>15</b>
<b>3.5.3 Control de maleza.....</b>	<b>15</b>
<b>3.5.4 Control de plagas.....</b>	<b>16</b>
<b>3.5.5 Cosecha.....</b>	<b>16</b>
<b>3.6 Variables evaluadas.....</b>	<b>16</b>
<b>3.6.1 Floración masculina (FM) .....</b>	<b>16</b>
<b>3.6.2 Floración femenina (FF) .....</b>	<b>16</b>
<b>3.6.3 Altura de la planta (AP).....</b>	<b>17</b>
<b>3.6.4 Altura de mazorca (AM) .....</b>	<b>17</b>
<b>3.6.5 Numero de mazorcas (NMz).....</b>	<b>17</b>
<b>3.6.6 Diámetro de la mazorca (DM) .....</b>	<b>17</b>
<b>3.6.7 Longitud de la mazorca (LM) .....</b>	<b>18</b>
<b>3.6.8 Peso de mazorca (PeMz).....</b>	<b>18</b>
<b>3.6.9 Número de hileras por mazorca (HMz) .....</b>	<b>18</b>
<b>3.6.10 Número de granos por hilera (GH).....</b>	<b>18</b>
<b>3.6.11 Rendimiento (REND).....</b>	<b>18</b>
<b>3.7 Análisis Estadístico .....</b>	<b>19</b>
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 Análisis de varianza .....</b>	<b>20</b>
<b>4.2 Aptitud combinatoria general (ACG) .....</b>	<b>25</b>
<b>4.3. Aptitud combinatoria específica (ACE) .....</b>	<b>28</b>
<b>V. CONCLUSIÓN .....</b>	<b>31</b>
<b>VI. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>32</b>



## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 3.1</b> Genealogía de material genético utilizado como progenitores 2013.	<b>13</b>
<b>Cuadro 3.2</b> Cruzas de las diferentes líneas de maíz en el diseño-II de Carolina del Norte, Torreón, Coahuila, México 2013	<b>14</b>
<b>Cuadro 4.1</b> Significancia de cuadrados medios de 11 variables en 20 híbridos experimentales formados por cruce dialélica de nueve progenitores en el ciclo primavera 2014.....	<b>21</b>
<b>Cuadro 4.2</b> Componentes de varianza de 11 variables agronomicas en 20 híbridos de maíz utilizando el diseño II de Carolina del Norte. Torreón, Coahuila, México 2014	<b>22</b>
<b>Cuadro 4.3</b> Valores medios de 11 variables cuantificadas en cuatro líneas utilizadas como machos (MAC) en el diseño II de Carolina del Norte en el ciclo primavera 2014	<b>23</b>
<b>Cuadro 4.4</b> Valores medios de 11 variables cuantificadas en 5 líneas utilizadas como hembras (HEM) en el Diseño-II de Carolina del Norte en el ciclo primavera 2014	<b>24</b>
<b>Cuadro 4.5.</b> Valores medios de 11 variables cuantificadas en 20 cruces de maíz evaluadas en el ciclo de primavera 2014	<b>25</b>
<b>Cuadro 4.6.</b> Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de cuatro progenitores como macho en 11 variables evaluadas en el ciclo primavera 2014	<b>26</b>
<b>Cuadro 4.7.</b> Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de cuatro progenitores como hembra en 11 variables evaluadas en el ciclo primavera 2014	<b>27</b>
<b>Cuadro 4.8.</b> Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de 20 cruces de maíz en 11 variables evaluadas en el ciclo de primavera 2014	<b>29</b>

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de determinar el tipo de acción génica predominante en líneas y cruzas evaluadas y determinar los efectos de Aptitud Combinatoria General de progenitores contrastantes y la Aptitud Combinatoria Específica de sus respectivas cruzas. El trabajo se realizó en Rancho “Las Alicia” ubicado en el municipio de Peñón Blanco. Durango. Se utilizaron dos líneas endogámicas del CIMMYT y siete de la UAAAN-UL. La siembra de evaluación se realizó el 4 de abril del 2014 en el ciclo primavera en riego normal. El diseño experimental fue de bloques al azar con dos repeticiones. El análisis genético se realizó con el diseño II de Carolina del norte de Comstock y Robinson (1948); se obtuvieron 20 híbridos. 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. Se tomaron datos de floración masculina (FM) y femenina (FF), altura de planta (AP) y de mazorca (AM), mazorcas por planta (MzPI), 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 craza 6x28 fue la que mayor promedio de REND obtuvo y se manifestó estadísticamente igual en cuanto a REND a las cruzas 5x26 y 2x26, las cuales mostraron los más altos valores de REND. Los progenitores 28 y 5 fueron quienes aportaron principalmente al REND en las cruzas evaluadas con la media más alta. La varianza aditiva ( $\sigma^2_A$ ) predominó en las variables de FF, AP, HMz y GH y la varianza de dominancia ( $\sigma^2_D$ ) se presentó en las variables de FM, AM, NMz, DMz, PeMz, LMz y REND.

**Palabras claves:** Mejoramiento genético, líneas, Acción génica, cruzas, varianza

## I. INTRODUCCIÓN

El maíz es el cultivo de mayor área sembrada y cosechada del mundo. Además, es el que más se produce y consume. Tiene la particularidad de contar con la más amplia cantidad de países participantes. Entre 2000 y 2008, la producción mundial de maíz creció 39% y alcanzó las 822 millones de toneladas, mientras que el trigo y el arroz, que por varios años fueron los cultivos de mayor volumen producido, solo aumentaron en un 15%. En el 2000, los tres cereales rondaban los 600 millones de toneladas a nivel mundial (MAIZAR, 2011).

En México es el grano más importante para la alimentación humana y destaca entre todos los cultivos por sembrarse anualmente en casi 8 millones de has, que producen alrededor de 21 millones de toneladas, con un rendimiento promedio de 2.63 t ha<sup>-1</sup>. Aun siendo México el centro de origen de esta gramínea, su producción y rendimientos son ampliamente superados por otros países productores como son Estados Unidos y China (SAGARPA, 2014).

En el estado de Durango se siembran anualmente 186 mil ha de maíz de grano, con una producción de 413,212.25 toneladas, donde aproximadamente 32 mil ha son de riego con un rendimiento de 8.26 t ha<sup>-1</sup> y más de 153 mil ha de temporal con 0.99 t ha<sup>-1</sup> (SAGARPA, 2009).

En zonas con sistemas agrícolas intensivos, como en la Comarca Lagunera, desde hace más de 24 años, el 52 por ciento de los agricultores utilizan materiales mejorados y, el resto usa variedades criollas y ocasionalmente semilla de generaciones segregantes procedentes de híbridos. En la actualidad se estima que 93 por ciento 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 (Gutiérrez *et al.*, 2002).

El rendimiento de grano del maíz en EE. UU. se ha incrementado en 40 a 50 por ciento debido a mejores prácticas de manejo agronómico, como el uso de más fertilizante nitrogenado y de altas densidades de población y, en 50 a 60 por ciento por el mejoramiento genético en la arquitectura de planta, como menor porte de planta, hojas erectas, resistencia al acame, etc. (Duvick, 1992; Russell, 1991).

### **1.1 Objetivo general**

Determinar el tipo de acción génica predominante en líneas y cruzas evaluadas.

### **1.2 Objetivo específico**

Cuantificar los efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) de nueve progenitores contrastantes y la Aptitud Combinatoria Específica (ACE) de sus 20 cruzas simples.

### **1.3 Hipótesis**

**H1:** El tipo de acción génica predominante es del tipo aditivo.

**H1a:** El tipo de acción génica predominante es el no-aditivo.

**H2:** Cuantitativamente la ACG es mayor que la ACE.

**H2a:** Cuantitativamente la ACG es menor que la ACE.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Mejoramiento genético

El mejoramiento genético es un proceso continuo en la formación de nuevas variedades o híbridos comerciales; el conocimiento de los diversos tipos de acción génica y la importancia de estos en la determinación de caracteres de interés es básico para lograr avances rápidos en un programa destinado a la obtención de híbridos (Malcarne y San Vicente, 2003).

### 2.2 Líneas

El éxito en 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 (Wong *et al.*, 2006).

Los programas de mejoramiento genético dedicados a la formación de híbridos y variedades comerciales de maíz, requieren generar nuevas líneas con alto potencial de rendimiento, buen comportamiento agronómico y excelente aptitud combinatoria; se ha encontrado que las líneas que reúnen estas características presentan resultados satisfactorios en combinaciones híbridas (Fan *et al.*, 2003).

### 2.3 Línea pura

Las líneas puras son aquellas no relacionadas o que son derivadas de poblaciones mejoradas y genéticamente amplias, generalmente poseen buena ACG cuando son cruzadas como probadores comerciales que pudieran ofrecer altos beneficios a la industria semillera (Carena, 2005).

El método clásico para desarrollar líneas puras endocriadas comprende generalmente la selección de las plantas durante un periodo de auto fecundación sobre la base de la apariencia física de un surco de planta 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).

## **2.4 Hibridación**

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).

### **2.4.1 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).

El rendimiento de un híbrido simple depende de la acción génica aditiva, dominante y epistática, cuando se hace el ensamblaje respectivo. Al evaluar el comportamiento per se de las líneas se puede conocer la contribución de los efectos aditivos en el híbrido; pero no los efectos epistáticos y de dominancia. El uso de los marcadores moleculares para estimar la divergencia genética entre pares de líneas mejoradas ha sido sugerido como una medida para superar este inconveniente, y permitir la identificación y predicción del comportamiento de híbridos simples (Lanza *et al.*, 1997; Bernardo, 2001; Warburton *et al.*, 2002).



Por otra parte (Hallauer *et al.*, 1988) mencionan que los híbridos de cruza simple presentan el problema de bajo rendimiento de las líneas endogámicas que los forman, lo cual dificulta y encarece la producción de la semilla comercial del híbrido; pero a través del tiempo se ha venido incrementando el rendimiento de las líneas de modo que la tendencia actual es formar híbridos de cruza simple, cuyas líneas deben manifestar alta heterosis en la cruza.

#### **2.4.2 Híbrido trilineal**

Los híbridos trilineales representan una opción atractiva y conciliadora de la producción de semilla y el mejoramiento genético, en su producción comercial se aprovechan las ventajas en productividad que se logran con la heterosis y al mismo tiempo se ofrecen facilidades para controlar la calidad genética en la producción de semilla. Esto es posible al utilizarse como progenitor macho a una línea que puede revisarse con cierta facilidad y depurarse al seleccionar características favorecedoras de la producción. Los híbridos trilineales permiten alta rentabilidad para las empresas productoras de la semilla, ya que la cruza simple que participa como hembra es de alta productividad (Reyes, 1985; Sierra *et al.*, 1990; Rodríguez *et al.*, 1997; Espinosa *et al.*, 1998; Sierra *et al.*, 2005).

#### **2.4.3 Híbrido doble**

Un híbrido doble se obtiene del cruzamiento de dos híbridos simples, por lo que en su constitución intervienen cuatro líneas puras; 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).

### **2.5 Interacción genotipo ambiente**

La interacción G x A es frecuentemente descrita como la inconsistencia del comportamiento entre genotipos desde un ambiente a otro, y cuando ésta

ocurre en gran proporción reduce el progreso genético de la selección (Yang y Baker, 1991; Magari y Kang, 1993).

El conocimiento de la magnitud de la interacción entre el genotipo y el ambiente permite evaluar la estabilidad de los cultivares en una gama de ambientes donde se desean introducir. También permite evaluar los potenciales productivos y las posibles limitaciones de éstos en cada localidad (Contreras y Krarup, 2000).

La interacción de cultivares con los factores ambientales es de gran importancia para los agricultores y en los programas de mejoramiento de plantas. Los efectos que los cultivares y el ambiente ejercen sobre la interacción cultivar-ambiente son estadísticamente no aditivos. Esto indicaría que las diferencias en productividad entre cultivares dependerá del ambiente en el cual están siendo cultivados (Yue *et al*, 1997; Scapim *et al*. 2000; Contreras y Krarup, 2000).

Durante el proceso de la selección es importante considerar, no solo los efectos lineales del genotipo x ambiente, sino también la interacción del genotipo x ambiente, ya que a través de ella se detecta la eficiencia de la selección en función de la adaptación genotípica a través de ambientes, lo cual evita la necesidad de desarrollar programas de mejoramiento específicos para cada ambiente en particular (Wong *et al.*, 2006).

## **2.6 Acción génica**

Conocer la acción génica que controla los caracteres de interés económico es básico para la planeación de un programa de mejoramiento genético. Mediante la aptitud combinatoria de los progenitores, el mejorador logra mayor eficiencia en su programa de mejoramiento, porque 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 (Guillen *et al.*, 2009).

## 2.7 Aptitud combinatoria

Según Márquez (1988), el término aptitud combinatoria significa la capacidad que tiene un individuo o una población, de combinarse con otros, medida por medio de su progenie. Sin embargo, la aptitud combinatoria debe determinarse no sólo en un individuo de la población sino en varios, a fin de poder seleccionar aquéllos que exhiban la más alta aptitud combinatoria. Los efectos de aptitud combinatoria han sido utilizados ampliamente en el mejoramiento genético para estimar los tipos de acción génica que controlan a los diferentes caracteres.

Gutiérrez *et al.* (2002) mencionaron 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 información de aptitud combinatoria de las fuentes de germoplasma y de los progenitores derivados de ellas es un requerimiento importante, además de considerar su respuesta heterotica para incrementar la eficiencia en la hibridación, dada la importancia de combinar progenitores endocriados y no endocriados o una combinación de ambos (Antuna *et al.*, 2003).

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).

### **2.7.1 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 (Jungenheimer, 1990). La aptitud combinatoria general está relacionada con los genes de efectos aditivos (Matzinger, 1963).

Jungenheimer, (1985) indicó que los probadores deben seleccionarse por su capacidad para combinar las líneas con otras. La Aptitud Combinatoria General (ACG) es el desempeño promedio de una línea en algunas combinaciones híbridas. La ACG proporciona información sobre que líneas corresponden producir los mejores híbridos cuando se cruzan con muchas otras líneas. Pueden usarse probadores para determinar que líneas pueden reemplazar en los híbridos actuales o usarse en nuevos híbridos competentes.

### **2.7.2 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) señaló que en los clones se puede obtener información de (ACE), mediante el ensayo donde se hacen comparaciones de las cruzas simples entre ellos. Se cruzan 10 o más de los clones originales con progenies de policruzas sobresalientes, para formar cruzas simples en todas las combinaciones posibles. Se compara el comportamiento de las progenies de las cruzas simples, para determinar la aptitud combinatoria específica de los clones.

Hallauer y Eberhart (1976) indicaron 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 epistasis, 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.

## 2.8 Diseños genéticos

En el maíz generalmente se tiene herencia regular diploide, y los efectos maternos usualmente no son importantes ;el uso de diseños experimentales apropiados y la randomizacion que se da evita la correlación de los efectos ambientales con las progenies; las progenies resultantes del apareamiento entre individuos no emparentados no son endocriados y no guardan relación con el grado de endocria que pueden tener los progenitores; el equilibrio de ligamento asumido puede no cumplirse realmente, como en el caso de una población  $F_2$  de una variedad sintética de reciente formación en base a las líneas endocriadas IICA-BID-PROCIANDINO (1991).

### 2.8.1 Diseño Carolina del Norte I

Las progenies experimentales se obtienen de cada uno de  $m$  plantas seleccionadas al azar y tomándolos como progenitores machos, con una serie de  $f$  plantas designadas como hembras de manera que las  $f$  plantas hembra de una planta macho determinada no son utilizadas para el apareamiento con otra planta macho. El número de progenies obtenidas es igual a  $mf$  IICA-BID-PROCIANDINO (1991).

### 2.8.2 Diseño Carolina del Norte II

De origen, Comstock y Robinson (1949) se refirieron a la aplicación del Diseño II, como un proceso que se inicia con la obtención de una muestra aleatoria de  $m$  machos y, en forma independiente, una de  $f$  hembras de la población de objeto de estudio. Posteriormente se realiza la cruce de cada macho con cada una de las hembras, formándose así  $mf$  familias de hermanos completos. Sin embargo si la estructura floral de la especie no permite como es el caso del maíz la formación de estas cruces, y lo que se hace es generar hembras a partir de la autofecundación de cada hembra originalmente muestreada, para

que sean polinizadas cada una por uno de los machos se generara una nueva situación que amerita un análisis particular.

Este diseño genético puede emplearse en plantas que producen bastantes flores o utilizando progenies derivadas de una autofecundación de plantas individuales no endocriadas en plantas como el maíz, que produce una o dos inflorescencias femeninas por planta. En este diseño se hace todos los cruzamientos posibles entre un grupo de plantas escogidas al azar de la población, y que servirán de machos, con otro grupo de plantas también escogidas al azar, y que servirán de hembras. A diferencia del Diseño I, el grupo de plantas hembra se tiene que aparear con cada una de las plantas del grupo que sirve de machos. Si se elige **m** plantas machos y **f** plantas hembras, se obtendrán **mf** progenie experimental, las cuales constituyen familias de hermanos completos (IICA-BID-PROCIANDINO (1991)).



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización geográfica

El Rancho las “Las Aliciaas” se localiza en el municipio de Peñón Blanco Durango, ubicado en la región central del estado y tiene por colindantes: al norte el municipio de Nazas; al oriente el de Cuencamé; y al sur el de Guadalupe Victoria y de Pánuco de Coronado; y por el poniente el de San Juan del Río. Su territorio abarca una superficie aproximada de 1,827 kilómetros cuadrados. Sus coordenadas son: 24°47' LN y 104°01' LW. La altura del municipio sobre el nivel del mar es de 1,800 metros.

#### 3.2 Material genético

Se utilizaron nueve líneas endogámicas de maíz, dos provenientes del banco de germoplasma de CIMMYT y siete de la UAAAN-UL (Cuadro 3.1). Con estas líneas se formaron dos grupos, correspondiendo al primero (machos) de cuatro líneas y el segundo (hembras) de cinco líneas.

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

Línea	Genealogía	Origen
L1	A-30-01	UAAAN-UL
L2	A-57-02	UAAAN-UL
L5	A-06-11	UAAAN-UL
L6	A-56-14	UAAAN-UL
L23	AN-77-185	UAAAN-UL
L25	CML508-43	CIMMYT
L26	CML509-44	CIMMYT
L27	AN-82-190	UAAAN-UL
L28	AN-78-186	UAAAN-UL

En el ciclo primavera del 2013 se realizaron las cruzas entre los dos grupos de líneas. El sistema de cruzamiento fue de acuerdo al método II de Carolina del Norte (Comstock y Robinson 1948) donde se generaron 20 cruzas como se presenta en el Cuadro 3.2.

**Cuadro 3.2. Cruzas de las diferentes líneas de maíz en el Diseño II de Carolina del Norte, Torreón, Coahuila, México 2013.**

♂/♀	<b>23</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>
<b>1</b>	1x23	1x25	1x26	2x27	1x28
<b>2</b>	2x23	2x25	2x26	2x27	2x28
<b>5</b>	5x23	5x25	5x26	5x27	5x28
<b>6</b>	6x23	6x25	6x26	6x27	6x28

### 3.3 Descripción de la parcela experimental

Se evaluaron los tratamientos en el ciclo agrícola de 2014. El diseño experimental fue en bloques al azar con dos repeticiones bajo riego normal. La parcela experimental 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 ha<sup>-1</sup>.

### 3.4 Siembra

Se llevó a cabo en el ciclo primavera 2014, el 04 de abril en el Rancho “Las Alicia”, del municipio de Peñón Blanco Durango. Dicha labor se realizó en forma manual depositando dos semillas por golpe. Se aplicó un riego posterior a la siembra y a los 21 días se realizó un aclareo dejando una planta por golpe.

### **3.5 Manejo agronómico**

#### **3.5.1 Fertilización**

La dosificación de fertilizante se aplicó en dos tiempos. Una al momento de la siembra en el cual se aplicó el cincuenta por ciento del nitrógeno y todo el fósforo. En la segunda práctica de la misma forma se depositó resto del nitrógeno. Como fuente del nitrógeno se utilizó urea (46-00-00) y como fuente de fósforo el superfosfato de calcio triple (00-46-00).

#### **3.5.2 Riego**

Para llevar a cabo los riegos en los tratamientos evaluados se utilizaron dos métodos artificiales, primeramente se aplicaron seis riegos por aspersión con sistema Side roll, hasta que la planta alcanzo una altura de 60 cm. Posteriormente se realizaron nueve riegos localizados con sistema de goteo generando un total de 15 riegos con diferentes tiempos e intervalos entre riegos tomando en cuenta la humedad disponible en el suelo durante el ciclo de evaluación.

#### **3.5.3 Control de maleza**

Para el control de maleza se llevaron a cabo dos métodos (químico y manual), realizando muestreos desde el inicio para su control y se aplicó en post-emergencia dirigida HIERBAMINA (**2,4-D**: Sal dimetilamina del ácido 2,4-Diclorofenoxiacético), cuando la planta tuvo 25 cm de altura, a la dosis recomendada por la etiqueta del producto 2 L ha<sup>-1</sup>. De igual manera para controlar la maleza se hicieron labores como cultivos con el tractor y arado con yunta al momento de levantar el bordo; también se utilizó azadón y se controló de manera manual después del último cultivo.

### **3.5.4 Control de plagas**

El problema principal que se presentó durante el desarrollo de los tratamientos fue (*Spodoptera frugiperda*) gusano cogollero. Para su control se realizó un adecuado monitoreo del cultivo para llevar a cabo su manejo con aplicación de riegos por aspersion rociando gotas de agua sobre el cogollo de la planta semejando el efecto de la lluvia para disminuir el nivel de incidencia de la plaga. Así mismo se aplicó Cipermetrina a razón de la dosis 1 L ha<sup>-1</sup>. La aplicación se realizó de manera manual con mochila de 20 litros.

### **3.5.5 Cosecha**

La cosecha se realizó aproximadamente a los 180 días después de la siembra de forma manual cuando el grano alcanzo una humedad del 18%, cosechando todas las mazorcas y colocándolas al inicio de cada parcela útil, para luego encostalarlas y rotularlas para su evaluación.

## **3.6 Variables evaluadas**

### **3.6.1 Floración masculina (FM)**

Esta variable corresponde al número de días que transcurrieron desde la siembra hasta la fecha en la cual el cincuenta por ciento de las plantas de la parcela se encontraban derramando polen.

### **3.6.2 Floración femenina (FF)**

Corresponde al número de los días transcurridos desde la siembra hasta que más del cincuenta por ciento de las plantas de cada parcela poseen estigmas receptivos.

### **3.6.3 Altura de la planta (AP)**

La altura de planta comprende la medida desde la base del tallo hasta la inserción de la hoja bandera o base de la espiga. Esta se determinó en base al promedio de cinco plantas tomadas al azar por cada parcela con ayuda de una cinta métrica y los datos registrados se expresaron en centímetros.

### **3.6.4 Altura de mazorca (AM)**

Esta variable se tomó como el promedio en cinco plantas seleccionadas al azar de la parcela, midiendo la distancia en cm desde la base de la planta hasta el nudo donde nace la mazorca principal. La medición se llevó a cabo con una cinta métrica y se expresó en centímetros.

### **3.6.5 Numero de mazorcas (NMz)**

El número de mazorcas corresponde al total de mazorcas cosechadas dentro de cada parcela útil, utilizándose como un indicador de la prolificidad de los materiales.

### **3.6.6 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., previo al desgrane, obteniendo esta medida con la ayuda de un vernier.

### 3.6.7 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 cinta métrica.

### 3.6.8 Peso de mazorca (PeMz)

Para obtener el peso se seleccionaron cinco mazorcas representativas al azar de cada parcela y se pesaron con una báscula en escala de kg.

### 3.6.9 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.

### 3.6.10 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 ambas hileras entre dos.

### 3.6.11 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 18 por ciento de humedad, reflejada en kg ha<sup>-1</sup>. La fórmula utilizada es la presentada por Morales (1993).

$$\frac{kg}{Ha} = (PeCa) \left( \frac{(100 - Hc)}{82} \right) \left( \frac{10000}{AU} \right)$$

Dónde:  $PeCa$  = Peso de campo de las mazorcas cosechadas por parcela útil en Kg;  $AU$  = Área de Parcela útil y  $Hc$  = Humedad de campo en la cosecha.

### 3.7 Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico se usó el programa Analysis of Genetic Designs (AGD-R) en su versión 2.0 para Windows (Rodríguez *et al.*, 2015), cuyo modelo estadístico es;

$$Y_{ijk} = \mu + M_i + H_j + \alpha_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Se optó por este programa debido a que facilita el análisis de varianza al igual que el análisis genético (diseño II de Carolina del Norte), la estimación de los parámetros genéticos, la ACG y la ACE de las diferentes líneas y cruzas de maíz evaluadas. La diferencia estadística entre la ACG de los progenitores machos, hembras y la ACE de las cruzas, se determinó mediante la prueba de “t” o diferencia mínima significativa al 0.05 %,  $DMS \alpha = EE \times t (\alpha 2^{-1}, gl ee)$ , donde  $EE$  = Error estándar en la comparación de medias;  $EE = \sqrt{2CME (RM)^{-1}}$ ;  $R$  = repeticiones;  $M$  = Machos;  $H$  = Hembras;  $gl$  = Grados de libertad; y  $ee$  = Error experimental.



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis de varianza

En el Cuadro 4.1 se muestran las diferencias de cuadrados medios de 11 variables evaluadas en 20 híbridos experimentales en el ciclo primavera-verano 2014.

Se observó que para el factor repeticiones (REP) hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) para las variables: floración femenina (FM), altura de planta (AP) y altura de mazorca (AM). Los 20 híbridos experimentales fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.01$ ) en nueve de las variables, con la excepción de las variables AM e HMz que no mostraron diferencias significativas. Para la fuente de variación **machos (MAC)**, las variables, floración femenina (FF), número de mazorcas (NMz) y peso de mazorca (PeMz) fueron diferentes ( $p \leq 0.05$ ), y altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) para floración masculina (FM) y longitud de mazorca (LMz), en tanto que el resto fue no-significativo (AP, AM, HMz, GH, DMz y REND).

Las hembras (**HEM**), en contraste, mostraron mayor diversidad, ya que se observaron diferencias ( $p \leq 0.05$ ) para las variables número de mazorcas (NMz) e hileras por mazorca (HMz) y, diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) para: floración masculina (FM), floración femenina (FF), altura de planta (AP), peso de mazorca (PeMz), longitud de mazorca (LMz), granos por hilera (GH), diámetro de mazorca (DMz) y rendimiento (REND).

Para la interacción (**MACxHEM**) que representa las cruzas mostro diferencias estadísticas ( $p \leq 0.05$ ) para granos por hilera (GH) y diferencias altamente significativas para: floración masculina (FM), número de mazorcas (NMz), peso de mazorca (PeMz), longitud de mazorca (LMz), diámetro de mazorca

(DMz) y rendimiento (REND). Estos resultados se dan debido al potencial genético de las líneas progenitoras al momento de ser combinadas.

La ausencia de significancia en **MAC**, se explica por el hecho que estas líneas fueron derivadas de la misma población y comparten una proporción importante de genes ó de fondo genético. En cambio, se observa mayor diversidad en **HEM**, dado que provienen de diferente germoplasma, dos que provienen del CIMMYT (L25, L26) y tres (L23, L27 y L28) de origen NARRO.

Cuando se combinan **MACxHEM**, las diferencias se acentúan en las variables de tipo cuantitativo preferentemente NMz, PeMz, LMz, HMz, GH, DMz y REND, lo cual presume que exista un efecto no-aditivo de importancia. Puesto que las MAC y HEM representan los efectos aditivos y MACxHEM los no-aditivos, si se analiza la contribución a la suma de cuadrados de las tres fuentes de variación MAC, HEM y MACxHEM, y la relación **MAC+HEM / MACxHEM**, se observa que en seis (6) de las 11 variables predomina el efecto aditivo y, en el resto (5) el efecto no-aditivo, donde se encuentran las variables AM, NMz, PeMz, DM y REND. De acuerdo a lo anterior se supone que los dos efectos, aditivos y no-aditivos son de importancia en el material evaluado.

**Cuadro 4.1. Significancia de cuadrados medios de 11 variables de 5 líneas hembra (HEM) y 4 líneas macho (MAC) de acuerdo al Diseño-II de Carolina del Norte. Ciclo primavera 2014.**

F.V	gl	FM	FF	AP	AM	NMz	PeMz	LMz	HMz	GH	DMz	REND
REP	1	4.23*	9.03	1500.6*	950.6*	6.4	225.6	0	0.004	0.4	0.14	813333
GENOT	19	12.4**	17**	565.1**	320.1	29.7**	1491.8**	2.7**	1.4	20.8**	0.8**	2501358**
MAC	3	4.36**	10.43*	575.6	455.6	34.17*	1231.7*	2.38**	1.456	1.48	0.29	310764
HEM	4	30.6**	62.15**	1220.9**	335.3	29.21*	2511.7**	5.26**	2.624*	67.11**	1.31**	2732275**
MACx HEM	12	8.32**	3.55	343.9	281.2	28.73**	1267.7**	1.81**	0.963	10.13*	0.64**	2972004**
EE	19	0.6	2.55	186.2	190.1	7.72	295.8	0.25	0.703	3.73	0.16	325188
C.V. (%)		0.73	1.46	6.49	12.08	13.79	6.74	2.9	5.567	5.12	2.47	8.93
MEDIA		106.08	109.2	210.1	114.1	20.15	254.8	17.2	15.06	37.6	16.4	6365.67

\*, \*\* Valores significativos al 0.05 y 0.01 de probabilidad, FM= floración masculina, FF= floración femenina, AP=altura de planta, AM= altura de mazorca, NMz= número de

mazorca, PeMz= peso de mazorca, LMz= longitud de mazorca, HMz= hileras por mazorca, GH= granos por hilera, DMz= diámetro de mazorca, REND= rendimiento de grano.

Estos resultados se confirman al cuantificar los componentes de varianza (Cuadro 4.2), en los cuales se observa que la varianza aditiva ( $\sigma^2a$ ), fue importante para las variables: **FF, AP, HMZ y GH**; en contraste la varianza de dominancia ( $\sigma^2d$ ) lo fue para las variables: **FM, AM, NMz, PeMz, LMz, DMz y REND**. En el caso de REND, puesto que las varianzas Aditiva representada por **MAC y HEM** fueron negativas, se consideró como cero. Éstos valores se confirman al estimar el Grado Promedio de Dominancia ( $\bar{d}$ ) donde éstas variables expresan una acción génica de dominancia y sobredominancia.

Por tal razón el material genético puede ser explotado mediante un programa de selección que explote ambos efectos como la selección recíproca recurrente (Comstock *et al.*, 1949).

La mayoría de los programas de mejoramiento de maíz utilizan el comportamiento de las líneas, los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y la predicción del comportamiento de cruizas, como medidas del potencial genético de una línea (Hallauer y Miranda, 1981).

**Cuadro 4.2 Componentes de varianza de 11 variables agronómicas**

Variables	$\sigma^2a$	$\sigma^2d$	$\sigma^2g$	$\sigma^2e$	$\sigma^2a/\sigma^2g$	$\sigma^2f$	H <sup>2</sup>	h <sup>2</sup>	$\bar{d}$
<b>FM</b>	11.14	15.44	26.58	0.60	0.42	27.18	0.98	0.41	1.66
<b>FF</b>	29.30	2.00	31.30	2.55	0.94	33.85	0.92	0.87	0.37
<b>AP</b>	438.50	315.40	753.90	186.20	0.58	940.10	0.80	0.47	1.20
<b>AM</b>	75.17	182.20	257.37	190.10	0.29	447.47	0.58	0.17	2.20
<b>NMz</b>	2.24	41.96	44.20	7.72	0.05	51.92	0.85	0.04	6.12
<b>PeMz</b>	622.0	1943.80	2565.80	295.80	0.24	2861.60	0.90	0.22	2.50
<b>LMz</b>	1.73	3.12	4.85	0.25	0.36	5.10	0.95	0.34	1.90
<b>HMz</b>	0.83	0.52	1.35	0.70	0.61	2.05	0.66	0.40	1.12
<b>GH</b>	28.49	12.80	41.29	3.73	0.69	45.02	0.92	0.63	0.95
<b>DMz</b>	0.34	0.96	1.30	0.16	0.26	1.46	0.89	0.23	2.39
<b>REND</b>	0.0	5293632.0	5293632.0	325188.0	0.0	5618820.0	0.94	0.00	>1

( $\sigma^2a$  =varianza aditiva,  $\sigma^2d$  =varianza de dominancia,  $\sigma^2g$ =varianza genética,  $\sigma^2e$ =varianza del error,  $\sigma^2f$  =varianza fenotípica, h<sup>2</sup>=heredabilidad en sentido estricto,

H<sup>2</sup>=heredabilidad en sentido amplio). FM= floración masculina, FF= floración femenina, AP=altura de planta, AM= altura de mazorca, NMz= número de mazorca, PeMz= peso de mazorca, LMz= longitud de mazorca, HMz= hileras por mazorca, GH= granos por hilera, DMz= diámetro de mazorca, REND= rendimiento de grano.

En el Cuadro 4.3, se presentan los valores medios de las líneas utilizadas como machos en 11 variables cuantificadas. Los Machos 1, 5 y 6 resultaron estadísticamente más tardíos con una diferencia mínima de un día respecto al más precoz que fue el Macho 2. Para la altura de planta (AP) el macho 2 fue estadísticamente el de mayor altura, por lo tanto fue el que tuvo mayor altura de mazorca (AM). Respecto al número de mazorcas (NMz) el macho 6 obtuvo el mayor número de mazorcas y a su vez el Macho 1 el mayor peso de mazorca (PeMz). En relación a la longitud de mazorca (LMz) los Machos 1 y 5 mostraron la mayor longitud y los Machos 1 y 6 indicaron ser superiores en el número de hileras por mazorca (HMz). El Macho 5 represento el mayor número de granos por hilera (GH) y respecto a las dimensiones de la mazorca no se observaron diferencias. En el rendimiento de grano (REND) el macho 5 con 6623.47 kg ha<sup>-1</sup> obtuvo el mayor rendimiento.

**Cuadro 4.3. Valores medios de 11 variables cuantificadas en 4 líneas utilizadas como machos (MAC) en el Diseño II de Carolina del Norte en el ciclo primavera 2014.**

MAC	FM (d)	FF (d)	AP (cm)	AM (cm)	NMz	PeMz (g)	LMz (cm)	HMz	GH	DMz (cm)	REND kg• ha <sup>-1</sup>
1	106	111*	203	110	21	272*	18*	16*	37	16	6247
2	105	109	221*	124*	17	246	17	15	37	16	6257
5	106	110*	207	109	20	253	18*	15	39*	16	6623*
6	106	108	210	115	22*	249	17	16*	38	16	6415

FM= floración masculina, FF= floración femenina, AP=altura de planta, AM= altura de mazorca, NMz= número de mazorca, PeMz= peso de mazorca, LMz= longitud de mazorca, HMz= hileras por mazorca, GH= granos por hilera, DMz= diámetro de mazorca, REND= rendimiento de grano.

En el Cuadro 4.4, se presentan los valores medios de las líneas hembra (HEM) en 11 variables cuantificadas, donde se observó que la hembra 27 fue estadísticamente seis días más tardía respecto a la hembra 23 que resulto ser la

más precoz. Respecto a altura de mazorca (AP) la que presento ser más alta fue la línea 27 por consiguiente obtuvo mayor altura de mazorca (AM) y en cuanto al número de mazorcas (NMz) la hembra 28 indico tener el menor número respecto a las demás . En el peso de mazorcas (PeMz) no se observaron diferencias. Para la longitud de mazorca (LMz) la hembra 23 mostro ser la menor y las hembras 25, 26, 27 y 28 fueron estadísticamente iguales. En relación a hileras por mazorca (HMz) la hembra 27 presento tener el mayor número de hileras y así también la hembra 28 el mayor número de granos por hilera (GH). En las dimensiones de la mazorca (DMz) no se observaron diferencias, pero en el rendimiento de grano (REND) la hembra 28 indico tener el mayor rendimiento con 7299.82 kg ha<sup>-1</sup>.

**Cuadro 4.4. Valores medios de 11 variables cuantificadas en 5 líneas utilizadas como hembras (HEM) en el Diseño II de Carolina del Norte en el ciclo primavera 2014.**

<b>LINEAS</b>	<b>FM (d)</b>	<b>FF (d)</b>	<b>AP (cm)</b>	<b>AM (cm)</b>	<b>NMz</b>	<b>PeMz (g)</b>	<b>LMz (cm)</b>	<b>HMz</b>	<b>GH</b>	<b>DMz (cm)</b>	<b>REND kg ha<sup>-1</sup></b>
<b>23</b>	104*	106	199	111	21	231	16*	15	34	16	5666
<b>25</b>	105	107	216	114	21	256	18	14	38	16	6341
<b>26</b>	106	110	214	113	21	278*	18	15	39	16	6336
<b>27</b>	109*	113	226*	125*	21	260	17	19*	36	16	6283
<b>28</b>	107	110	196	108	17*	250	18	15	41*	16	7300*

En el Cuadro 4.5 se presentan los valores medios de rendimiento (REND) y demás variables evaluadas en 20 cruzas de maíz.

La cruz 6 x 28 sobresalió de las demás por su capacidad rendidora al obtener 8640 kg ha<sup>-1</sup>, seguida de la cruz 5 x 26 con un rendimiento de 8090 kg ha<sup>-1</sup>; el factor principal que promovió el buen rendimiento de las cruzas fueron los progenitores 5 como Macho y 28 como Hembra quienes aportaron al rendimiento (REND). Con referencia a lo anterior Jugenheimer (1990) señala que el vigor, el rendimiento y la mayoría de los caracteres de importancia económica del maíz son de naturaleza cuantitativa y están controlados por un alto número de genes cuyos efectos pueden diferir ampliamente.

**Cuadro 4.5. Valores medios de 11 variables cuantificadas en 20 cruzas de maíz evaluadas en el ciclo de primavera 2014**

CRUZA	FM (d)	FF (d)	AP (cm)	AM (cm)	NMz	PeMz (g)	LMz (cm)	HMz	GH	DMz (cm)	REND kg· ha <sup>-1</sup>
1 X 23	107	110	185	115	21	254	17.6	14	36	16.1	6224
1 X 25	105	108	207	102	23	271	17.5	14	38	16.7	6897
1 X 26	103	111	185	90	18	261	17.5	16	36	15.6	4997
1 X 27	<b>110*</b>	<b>115</b>	230	120	22	262	17.0	16	32	18.0	5636
1 X 28	105.	109	205	122	19	310	<b>18.7</b>	16	<b>43</b>	17.0	7481
2 X 23	102	105	200	120	17	234	15.2	16	32	16.0	5010
2 X 25	104	105	230	<b>137*</b>	16	255	18.1	14	39	16.5	5403
2 X 26	106	109	<b>242*</b>	130	<b>25</b>	267	17.3	14	38	16.0	<b>7917</b>
2 X 27	106	113	240	130	20	253	17.4	16	36	16.0	6034
2 X 28	107	111	190	100	10	221	16.8	16	40	16.0	6922
5 X 23	101	104	200	97	21	232	16.8	14	33	16.0	5175
5 X 25	105	107	215	105	19	256	17.9	16	38	16.0	6728
5 X 26	107	110	220	120	24	276	17.8	14	39	17.0	<b>8090</b>
5 X 27	109	113	212	120	20	<b>285</b>	18.1	16	39	17.0	6969
5 X 28	108	111	190	100	14	217	17.4	14	39	16.0	6156
6 X 23	104	105	210	110	24	204	13.6	14	32	16.0	6262
6 X 25	105	107	210	110	24	240	16.7	14	35	16.0	6338
6 X 26	108	109	210	112	16	308	<b>18.6</b>	16	41	17.0	4341
6 X 27	<b>110*</b>	112	220	130	22	241	16.9	16	36	16.4	6495
6 X 28	106	108	200	110	23	251	17.5	16	42	16.0	<b>8640</b>
<b>MEDIA</b>	<b>106</b>	<b>109</b>	<b>210</b>	<b>114</b>	<b>20</b>	<b>255</b>	<b>17.0</b>	<b>16</b>	<b>38</b>	<b>16.00</b>	<b>6386</b>

#### 4.2 Aptitud combinatoria general (ACG)

En el Cuadro 4.6 se presentan los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de cuatro líneas utilizadas como macho. El progenitor **1** mostro resultados significativos positivos para las variables: **FF**, **PeMz**, **LMz**, **NH**, **DMz** y **REND**.

Con referencia a lo anterior los resultados de este progenitor su descendencia en un cruzamiento indica que será más tardía debido a que aporta más días a floración femenina (FF). Por otra parte será una planta de porte bajo pero con buena mazorca por lo tanto aportara buen rendimiento (REND); en ese mismo sentido la línea **2** presento valores negativos para las variables **FM** y **PeMz**,

pero valores positivos en **AP**, **AM** y **REND**. Es evidente entonces que es una planta precoz por el menor número de días a floración masculina (FM), como también indica que este progenitor transmitirá a sus descendencia una mayor altura de planta (AP), por siguiente presentara mayor altura de mazorca (AM), también puede observarse que aportara características favorables para rendimiento (REND). Respecto al progenitor **5** se presentan valores significativos positivos para **GH** siendo este el progenitor más importante para transmitir **REND**, lo cual indica que trasmitirá a sus progenes mayor número de granos por hilera (GH) y un alto valor en rendimiento (REND). En relación al último progenitor se presentan valores positivos significativos para **FM** y **NMz** y valores negativos para las variables **FF** y **LMz**; en efecto aportara a su descendencia precocidad en floración femenina (FF), mayor número de mazorcas con menor longitud y una floración masculina (FM) tardía.

**Cuadro 4.6. Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de cuatro progenitores como macho en 11 variables evaluadas en el ciclo primavera 2014.**

Líneas	FM	FF	AP	AM	NMz	PeMz	LMz	NH	GH	DMz	REND
<b>1</b>	0.02	<b>1.42*</b>	<b>-7.62*</b>	-4.13	0.65	<b>16.83*</b>	<b>0.44*</b>	<b>0.50*</b>	<b>-0.34*</b>	<b>0.23*</b>	<b>138.78*</b>
<b>2</b>	<b>-0.88*</b>	-0.38	<b>10.38*</b>	<b>9.37*</b>	<b>-2.45*</b>	-8.62	-0.25	-0.10	-0.26	-0.09	<b>128.63*</b>
<b>5</b>	0.12	-0.08	-2.62	-5.63	-0.15	-1.37	0.38	-0.42*	<b>0.50*</b>	0.04	<b>237.79*</b>
<b>6</b>	<b>0.72*</b>	<b>-0.98*</b>	-0.12	0.37	<b>1.95*</b>	-5.87	<b>-0.56*</b>	0.02	0.10	-0.18	29.62

\* Valores significativos diferentes de cero; FM= floración masculina, FF= floración femenina, AP=altura de planta, AM= altura de mazorca, NMz= número de mazorca, PeMz= peso de mazorca, LMz= longitud de mazorca, HMz= hileras por mazorca, GH= granos por hilera, DMz= diámetro de mazorca, REND= rendimiento de grano.

La estimación de los efectos de ACG en las líneas macho, mostro que el mayor valor significativo positivo para **REND** lo aportan las líneas **5** y **1** por lo tanto con estas estimaciones se puede deducir que ambas líneas tienen una buena contribución en la expresión del rendimiento a su progenie.

En el Cuadro 4.7, se presentan los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de cuatro líneas utilizadas como hembra. El progenitor **23** presenta valores significativos negativos para las variables **FM**, **FF**, **AP**, **LMz** y **GH** y valores positivos para **PeMz** y **REND**. Todo lo anterior significa entonces que su descendencia en un cruzamiento aportara a su progenie precocidad en floración masculina (FM) y floración femenina (FF). Por otra parte será una planta de porte bajo con menor longitud de mazorca (LMz) en efecto tendrá menos granos por hilera pero con mayor peso de mazorca (PeMz) y caracteres muy importantes para transmitir rendimiento (REND). Respecto al progenitor **25** solo presenta un valor positivo significativo y corresponde a la variable **NH**, precisando de una vez el progenitor **26** al igual que el anterior también presenta solo un valor significativo positivo en **PeMz**, en ese mismo sentido el progenitor **27** presenta valores significativos positivos para **FM**, **FF**, **AP**, **AM**, **NMz**, **NH**, **DMz**. Después de las consideraciones anteriores este progenitor aportara a sus descendencias efectos tardíos tanto en FM como FF, así como una mayor AP y AM; también presentara mayor NMz y NH y, en complemento, un buen DMz. Por último la línea **28** presenta valores negativos significativos para **AP**, **AM**, **NMz** y **DMz**; sin embargo mostro valores positivos para **GH** y **REND**, siendo este el progenitor más importante para aportar caracteres de rendimiento.

**Cuadro 4.7. Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de cuatro progenitores como hembra en 11 variables evaluadas en el ciclo primavera 2014.**

Líneas	FM	FF	AP	AM	NMz	PeMz	LMz	NH	GH	DMz	REND
<b>23</b>	<b>-2.33*</b>	<b>-3.03*</b>	<b>-11.38*</b>	-3.50	0.73	<b>23.77*</b>	<b>-1.42*</b>	-0.41	<b>-3.96*</b>	-0.10	<b>718.03*</b>
<b>25</b>	-1.08	-2.28	5.50	-0.38	0.60	0.86	0.34	<b>-0.71*</b>	0.59	-0.06	-44.22
<b>26</b>	0.05	0.85	4.25	-1.00	0.98	<b>23.42*</b>	0.58	0.09	1.22	-0.05	-49.50
<b>27</b>	<b>2.92*</b>	<b>3.97*</b>	<b>15.50*</b>	<b>10.88*</b>	<b>1.10*</b>	5.61	0.13	<b>0.74*</b>	-1.56	<b>0.66*</b>	102.39
<b>28</b>	0.42	0.47	<b>-13.88*</b>	<b>-6.00*</b>	<b>-3.40*</b>	-4.89	0.38	0.29	<b>3.69*</b>	<b>-0.45*</b>	<b>914.14*</b>

\* Valores significativos diferentes de cero; FM= floración masculina, FF= floración femenina, AP=altura de planta, AM= altura de mazorca, NMz= número de mazorca, PeMz= peso de mazorca, LMz= longitud de mazorca, HMz= hileras por mazorca, GH= granos por hilera, DMz= diámetro de mazorca, REND= rendimiento de grano

La estimación de la ACG en las líneas hembra mostró que los mayores valores significativos positivos para la variable de **REND** lo aportaron las líneas **28**



y **23**; es decir, podrían transmitir en su descendencia a su progenie un mayor rendimiento en un cruzamiento.

### 4.3. Aptitud combinatoria específica (ACE)

En lo que respecta a los valores obtenidos de ACE de las diferentes cruzas en el **Cuadro 4.8** se aprecian resultados significativos positivos en la cruzada **1x23** en las variables **FM**, **FF**, **LMz** y **GH**, lo cual indica que es una cruzada tardía con buena longitud de mazorca (LM). En la cruzada **1x26** se obtuvieron valores significativos negativos para las variables **FM**, **AP**, **AM**, **PeMz** y **DMz**; sin embargo, mostro un valor significativo positivo para **REND**. Respecto a la cruzada **1x27** solo presenta un valor significativo negativo en la variable **GH** y valor positivo en **DMz**; para la cruzada **1x28** mostro un valor significativo negativo para **FF** como también valores positivos significativos para **AP** y **PeMz**; respecto a la cruzada **2x25** solamente se obtuvo un valor significativo positivo que corresponde a la variable **AM**, siendo esta la única cruzada que presento un valor significativo negativo para rendimiento. En la cruzada **2x26** se obtuvieron tres valores significativos positivos para **AP**, **NMz** y **REND** debido al alto valor del progenitor **2** de ACG en rendimiento.

La cruzada **2x28** resulto ser una cruzada de porte bajo debido a los valores significativos negativos para **AP** y **AM**; la cruzada **5x25** solo mostro un valor positivo significativo que fue para **NH** al igual que la cruzada **5x27** en **GH**; sin embargo, existen cruzas que presentaron también solo un valor significativo, pero en este caso negativo en la variable **LMz**, como se observa en la cruzada **6x23** y **GH** correspondiente a la cruzada **6x25**. También se puede observar claramente que la **5x26** y **6x28** resultaron ser las únicas cruzas que presentaron el único valor significativo positivo de mayor interés que fue **REND**. Respecto a la cruzada **5x28** como puede observarse se muestran dos valores significativos con efecto negativo para **PeMz** y **NH**, pero también con un valor positivo significativo para **REND** debido al más alto valor de ACG del progenitor **28** como se refleja de igual manera en la cruzada **6x28**. Por último los valores de la cruzada **6x26** mostraron un valor

significativo negativo para NMz y dos valores significativos positivos en **PeMz** y **LMz**, siendo esta la que mostro el valor más alto de ACE caracterizándola como la mejor cruza para la variable de rendimiento; esto indica que dos líneas con valores bajos en ACG no siempre originan una mala cruza como se esperaría sino podría originarse una buena cruza de tipo rendidora como se observa.

**Cuadro 4.8. Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de 20 cruzas de maíz en 11 variables evaluadas en el ciclo de primavera 2014.**

Línea	FM	FF	AP	AM	NMz	PeMz	LMz	NH	GH	DMz	REND
1 X 23	<b>3.73*</b>	<b>2.33*</b>	-6.125	8.5	-0.53	6.17	<b>1.36*</b>	-0.35	<b>2.82*</b>	-0.42	695.18
1 X 25	-0.02	-0.42	-0.5	-7.125	2.10	-1.46	-0.50	-0.25	0.67	0.12	694.12
1 X 26	<b>-3.15*</b>	-0.05	<b>-21.75*</b>	<b>-19.00*</b>	-3.28	<b>-34.02*</b>	-0.74	-0.05	-1.86	<b>-0.99*</b>	<b>1200.38*</b>
1 X 27	0.98	0.33	12	-0.875	0.10	-15.21	-0.79	0.3	<b>-3.58*</b>	<b>0.69*</b>	-508.59
1 X 28	-1.52	<b>-2.17*</b>	<b>16.375*</b>	18.50*	1.60	<b>43.29*</b>	0.66	0.35	1.97	0.59	319.66
2 X 23	-0.37	-0.37	-9.125	0.00	-0.93	11.62	-0.35	0.85	-0.86	0.17	-529.32
2 X 25	-0.12	-1.12	4.00	<b>14.38*</b>	-2.30	8.49	0.84	<b>-1.25*</b>	1.89	0.27	<b>-809.63*</b>
2 X 26	1.25	-0.25	<b>17.75*</b>	7.5	<b>6.33*</b>	-2.31	-0.25	-0.25	-0.44	0.09	<b>1708.97*</b>
2 X 27	-2.12	0.13	4.00	-4.375	1.20	1.24	0.30	0.3	0.53	-0.57	-121.01
2 X 28	1.38	1.63	<b>-16.63*</b>	<b>-17.50*</b>	-4.30	-20.26	-0.55	0.35	-1.11	0.04	-249.00
5 X 23	-2.87	-1.67	3.875	-7.50	0.27	2.37	0.62	-0.23	-0.52	0.20	-730.72
5 X 25	0.38	0.58	2.00	-3.125	-1.10	1.74	-0.04	<b>1.07*</b>	0.13	-0.48	148.30
5 X 26	0.75	-0.05	8.25	12.50	3.53	-0.32	-0.38	0.07	0.10	0.30	<b>1516.03*</b>
5 X 27	0.38	-0.17	-10.5	0.625	-0.60	25.99	0.37	0.02	<b>2.38*</b>	0.42	447.66
5 X 28	1.38	1.33	-3.625	-2.50	-2.10	<b>-31.01*</b>	-0.58	<b>-0.93*</b>	-2.08	-0.44	<b>1381.26*</b>
6 X 23	-0.47	-0.27	11.375	-1.00	1.17	-21.13	<b>-1.64*</b>	-0.27	-1.42	0.05	564.86
6 X 25	-0.22	0.98	-5.5	-4.125	1.30	-9.76	-0.30	0.43	<b>-2.68*</b>	0.09	-32.79
6 X 26	1.15	0.35	-4.25	-1.00	<b>-6.58*</b>	<b>35.68*</b>	<b>1.36*</b>	0.23	2.20	0.60	<b>2024.61*</b>
6 X 27	0.78	-0.27	-5.5	4.625	-0.70	-13.01	0.11	-0.62	0.68	-0.54	181.94
6 X 28	-1.22	-0.77	3.875	1.50	4.80	6.99	0.46	0.23	1.23	-0.19	<b>1310.60*</b>

\* Valores significativos diferentes de cero; FM= floración masculina, FF= floración femenina, AP=altura de planta, AM= altura de mazorca, NMz= número de mazorca, PeMz= peso de mazorca, LMz= longitud de mazorca, HMz= hileras por mazorca, GH= granos por hilera, DMz= diámetro de mazorca, REND= rendimiento de grano.

Los resultados obtenidos de ACE muestran que las cruzas **6x26** y **2x26** fueron las mejores ya que presentaron el más alto valor en ACE en REND. Después de las consideraciones anteriores, se coincide con Reyes *et al.* (2004) quienes mencionan que una cruza simple será de alto rendimiento si una línea

progenitora es de alta ACG y la otra es de baja ACG o si al menos una línea progenitora presenta una alta ACG o de igual manera se debe a los efectos de la interacción de los alelos dominantes de un progenitor con los alelos recesivos de otro progenitor.

## V. CONCLUSIÓN

De acuerdo con los razonamientos que se han venido realizando anteriormente se puede concluir que:

El ambiente donde se llevó a cabo la investigación afectó significativamente las variables de floración masculina (FM) y floración femenina (FF) debido a las bajas temperaturas que se presentaron durante el ciclo de evaluación, retardando los días para la germinación y alargando el periodo de las variables mencionadas; cabe agregar también otros factores ambientales como vientos y lluvias con granizo que impidieron el buen desarrollo de los tratamientos.

También puede concluirse que los mejores progenitores fueron 5 como macho y el 28 como hembra por sus altos valores en ACG. En ese mismo sentido las cruzas 6x26 y 2x26 fueron las mejores por su mayor ACE y la 2x25 la peor por su valor significativo negativo.

El REND es la característica de mayor interés y los resultados favorables de ACE de las cruzas que mostraron valores superiores a las demás se deben a la buena interacción de los alelos dominantes y recesivos de los progenitores. Además se debe a la complementación de las líneas progenitoras de alta ACG con las de baja ACG o si al menos una de ellas muestra un alto valor significativo positivo o negativo en ACG.

En este tipo de cruzamientos las variables expresan una acción génica de dominancia y sobredominancia. Por tal razón el material genético puede ser explotado mediante un programa de selección que explote ambos efectos como la selección recíproca recurrente o el retrocruzamiento.

## VI. BIBLIOGRAFIA

- AGRONOMIC, G. C. O., & LINES, M. I. (2003). Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(1), 11-17.
- Antuna-Grijalva O, Bustamante-García L, Gutiérrez-Del Río E, Rincón-Sánchez F, Ruiz-Torres NA (2003) Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas de líneas de maíz. *Rev. Fitotec. Méx.* 26(1): 11-17.
- Bernardo, R. (2001). Breeding potential of intra-and interheterotic group crosses in maize. *Crop science*, 41(1), 68-71.
- Carena, M. J. (2005). Maize commercial hybrids compared to improved population hybrids for grain yield and agronomic performance. *Euphytica*, 141(3), 201-208.
- CIMMYT, México DF (México). (1987). El desarrollo futuro del maíz y el trigo en el tercer mundo.
- Contreras, S., & Krarup, C. (2000). Interacción genotipo por ambiente en cinco cultivares de espárrago (*Asparragus officinalis* L.). *Ciencia e Investigación Agraria*, 27(3), 133-139.
- Comstock, R. E., Robinson, H. F., & Harvey, P. H. (1949). Breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. *Agronomy Journal*.
- De la Loma J. L. (1975) . *Genética General y Aplicada*. Editorial UTEHA. México.
- Lanza, L. L. B., de Souza Jr, C. L., Ottoboni, L. M. M., Vieira, M. L. C., & De Souza, A. P. (1997). Genetic distance of inbred lines and prediction of maize single-cross performance using RAPD markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 94(8), 1023-1030.
- Duvick, D. N. (1992). Genetic contributions to advances in yield of US maize. *Maydica* (Italy).
- Calderón, A. E., Cereceres, J. O., Fonseca, A. R., Montiel, N. O. G., & Garzas, A. M. (2012). Estabilidad y comportamiento de líneas per se y cruzas de maíz en la producción de semilla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 24(1), 27-36.

- Fan, X. M., Tan, J., Chen, H. M., Yang, J. Y., & Yang, H. J. (2003). Heterotic grouping for tropical and temperate maize inbreds by analyzing combining ability and SSR markers. *Maydica*, 48(4), 251-258.
- Fuentes, M., Larios, L., Quemé, J. L., Pérez, C., Castellanos, S. B., González, S., ... & Ortiz, J. R. (1997). Evaluación regional de cruas dialélicas y predicción de híbridos de maíz de grano amarillo, PRM, 1994. Síntesis de resultados experimentales 1993-1995 (No. 631.523 S618 1993-1995). CIMMYT, Guatemala (Guatemala). Programa Regional de Maíz para Centro América y el Caribe.
- Guillen DCP, De la Cruz LE, Castañón-Nájera G, Osorio-Osorio R, Brito-Manzano NP, Lozano-Del Río A, López-Noverola U (2009) Aptitud combinatoria general y específica de germoplasma tropical de maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 101-107.
- Gutiérrez, E., Palomo, A., Espinoza, A., & de la Cruz, E. (2002). Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la cámara lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25(3), 271-277.
- Coe Jr, E. H., Neuffer, M. G., Hoisington, D. A., Sprague, G. F., & Dudley, J. W. (1988). *The genetics of corn* (pp. 81-258). American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc. and Soil Science Society of America, Inc..
- Hallauer A, R., W, A., Russell, K, R., Lamkey. 1988. Cornbreeding. *In: Corn and Corn Improvement*. G F Sprague, J W Dudley (eds). Third Ed. ASA, CSSA, SSSA, Madison. Wi. pp: 469-564
- Hallauer, A. R., & Miranda, J. B. (1981). *Intra population selection methods quantitative genetics in maize breeding* Iowa State University Press Ames Iowa 50010.
- Hallauer, A. R., & Eberhart, S. A. (1970). Reciprocal full-sib selection. *Crop Science*, 10(3), 315-316.
- Cerrate Valenzuela, A., Fegan Escobar, W., Sevilla Panizo, R., Wandemberg, C. A., Rieger, E. E., Villamizar, C. A., ... & Lajo Lazo, M. (1991). *Conceptos de genética cuantitativa de maíz. Documentos. 13. Curso Corto: Mejoramiento Genético del Maíz* (No. PROCIND-IICA F30 I59). IICA, Quito (Ecuador). Programa Cooperativo de Investigación Agrícola para la Subregión Andina-PROCIANDINO/BID. Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial, Lima (Perú).
- Jugenheimer, W. R. (1985). *Corn improvement, seed production and uses*. Malabar, FL, USA, Robert E. Krieger Publishing.

- Jugenheimer, RW. (1990). Maíz, variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Ed. Limusa, México. p. 489-502
- Lanza, L. L. B., de Souza Jr, C. L., Ottoboni, L. M. M., Vieira, M. L. C., & De Souza, A. P. (1997). Genetic distance of inbred lines and prediction of maize single-cross performance using RAPD markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 94(8), 1023-1030.
- MAIZAR. (2011). El maíz, primero en el mundo (<http://www.maizar.org.ar>).
- Malacarne, M. F., & San Vicente, F. M. (2003). Patrones heteróticos de líneas tropicales blancas de maíz. *Agronomía Trop*, 53(4), 437-456.
- Márquez Sánchez, F. (1988). Genotecnia vegetal: métodos teoría resultados(No. 04; SB123, M3.).
- Martínez G. A. (1983). Diseños y análisis de experimentos de cruzas dialélicas. Segunda edición. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 252.
- Matzinger, D. F. (1963). Experimental estimates of genetic parameters and their applications in self-fertilizing plants. *Statistical genetics and plant breeding*. National Academy of Sciences-National research Council. Washington DC, 253-279.
- 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
- Poehlman J. M. (1987). Mejoramiento genético de las cosechas. Primera edición. Editorial LIMUSA. México.
- Reyes, D., Molina, J. D., Oropeza, M. A., & del Carmen Moreno, E. (2004). Cruzas dialélicas entre líneas auto fecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño.
- Reyes C., P. (1985). Fitogenotecnia básica y aplicada. AGT Editor. México, D.F., México. 460 p.
- Rodríguez, Francisco; Alvarado, Gregorio; Pacheco, Angela; Crossa, José; Burgueño, Juan, 2015-06-08, "AGD-R (Analysis of Genetic Designs with R for Windows) Version 2.0", <http://hdl.handle.net/11529/10202> International Maize and Wheat Improvement Center [Distributor] V7 [Version].
- Rodríguez, F., Sierra, M., Cano, O., & Castañón, G. (1997). Tree way crosses as an alternative for producing Maize in Veracruz, México. In *Memoria The International Symposium about the genetics and exploitation of heterosis in crops*. Mexico City, Mexico (p. 238).

- Russell, A., (1991) Genetic improvement of maize yield *Adv. Agron.* 46:245-298.
- SAGARPA. (2014). Informe de evaluación de impacto Proyecto estratégico de producción de maíz.
- SAGARPA. (2009). Monitor agroeconómico del estado de Durango (<http://www.sagarpa.gob.mx>).
- Scapim, C. A., Oliveira, V. R., Cruz, C. D., Andrade, C. A. D. B., & Vidigal, M. C. G. (2000). Yield stability in maize (*Zea mays* L.) and correlations among the parameters of the Eberhart and Russell, Lin and Binns and Huehn models. *Genetics and Molecular Biology*, 23(2), 387-393.
- Sierra-Macías, M., Caballero, A. P., Espinosa-Calderón, A., Caballero-Hernández, F., Montalvo, F. R., Freyre, S. B., & Valdivia-Bernal, R. (2005). Adaptabilidad de híbridos triples de maíz y de sus progenitores para la región tropical del sureste de México. *Agronomía mesoamericana*, 16(1), 13-18.
- Sierra-Macías, M.; Martínez C, J.; Alcázar A., J.; Preciado O., R. E.; Rodríguez M., F.; Arroyo L., M.C. (1990) Comportamiento de híbridos experimentales de maíz en el trópico húmedo de México. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria. San Salvador, El Salvador, C.A. , 76–83.
- Singh, R K and B D Chaudhary. 1985. Line x Tester analysis 3a Edition. *Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis*. pp 205-214.
- Sprague, G. F., & Tatum, L. A. (1942). General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *Agronomy Journal*, 34(10), 923-932.
- Warburton, M. L., Xianchun, X., Crossa, J., Franco, J., Melchinger, A. E., Frisch, M., ... & Hoisington, D. (2002). Genetic characterization of CIMMYT inbred maize lines and open pollinated populations using large scale fingerprinting methods. *Crop Science*, 42(6), 1832-1840.
- Wong, R. R., Gutiérrez, Del Río E, Rodríguez, H. S., Palomo, G. A., Córdoba, O. H., Espinoza, B. A. 2006. Aptitud combinatoria y parámetros genéticos de maíz para forraje en La Comarca Lagunera. *Universidad y Ciencia* 22 (2):141-151.
- Yang, R. C., & Baker, R. J. (1991). Genotype-environment interactions in two wheat crosses. *Crop Science*, 31(1), 83-87.
- Yue, G. L., Roozeboom, K. L., Schapaugh, W. T., & Liang, G. H. (1997). Evaluation of soybean cultivars using parametric and nonparametric stability estimates. *Plant Breeding*, 116(3), 271-275.