

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**PARÁMETROS GENÉTICOS Y APTITUD COMBINATORIA GENERAL Y
ESPECÍFICA EN LÍNEAS Y CRUZAS DE MAÍZ (*Zea mays* L)**

**POR:
LUIS ÁNGEL SANTOS ZAMORA**

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

INGENIERO AGRÓNOMO

TORREÓN, COAHUILA.

DICIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

PARÁMETROS GENÉTICOS Y APTITUD COMBINATORIA GENERAL Y
ESPECÍFICA EN LÍNEAS Y CRUZAS DE MAÍZ (*Zea mays* L)

POR:
LUIS ÁNGEL SANTOS ZAMORA

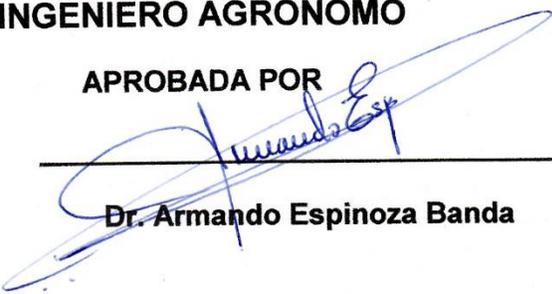
TESIS

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. Alejandro Zapata Adame

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE
CARRERAS AGRONÓMICAS


ME. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA.

DICIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

PARÁMETROS GENÉTICOS Y APTITUD COMBINATORIA GENERAL Y
ESPECÍFICA EN LÍNEAS Y CRUZAS DE MAÍZ (*Zea mays L*)

POR:
LUIS ÁNGEL SANTOS ZAMORA

TESIS

QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR 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:



Ing. Alejandro Zapata Adame

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE
CARRERAS AGRONÓMICAS



ME. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA.

DICIEMBRE DE 2015

AGRADECIMIENTOS

A mis **Padres:** por su apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera, por darme la vida, por ser simplemente los mejores padres, a los que amo infinitamente.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por darme la oportunidad de cumplir mi sueño.

A todos mis **maestros** que forman parte del programa de Ingeniero Agrónomo y por supuesto al departamento de Fitomejoramiento.

A mis **Asesores de Tesis**, Dr. Armando Espinoza Banda, Dra. Oralia Antuna Grijalva, M. C. José Luis Coyac Rodríguez e Ing. Alejandro Zapata Adame.

A mis **Compañeros** de la Universidad.

Muchas gracias a todos.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	v
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	4
1.2 Hipótesis	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Mejoramiento en maíz.....	5
2.2 Formación de líneas de maíz.....	7
2.3 Hibridación en maíz	9
2.4 Aptitud Combinatoria, General y Específica.....	12
2.5 Parámetros genéticos	13
2.6 Diseños genéticos.....	16
2.6.1 Diseño II de Carolina del Norte	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. Localización geográfica.....	21
3.2. Material genético.....	21
3.3. Descripción de la parcela experimental	22
3.4. Siembra.....	23
3.5. Manejo Agronómico	23
3.5.1. Fertilización	23
3.5.2. Riego.....	23
3.5.3. Control de maleza	24
3.5.4. Control de plagas	24
3.5.5. Cosecha	25
3.6. Variables evaluadas.....	25
3.6.1. Días a floración masculina (FM).....	25
3.6.2. Días a floración femenina (FF).....	25
3.6.3. Altura de planta (AP).....	25

3.6.4. Altura de mazorca (AM)	26
3.6.5. Aspecto de la planta (AsPI)	26
3.6.6. Cobertura de mazorca (COB)	26
3.6.7. Número de mazorcas por planta (MzPI).....	27
3.6.8. Aspecto de la mazorca (AsMz)	27
3.6.9. Pudrición de mazorca (PuMz)	27
3.6.10. Diámetro de la mazorca (DM)	28
3.6.11. Longitud de la mazorca (LM).....	28
3.6.12. Número de hileras por mazorca (HMz)	28
3.6.13. Numero de granos por hilera (GH).....	28
3.6.14. Rendimiento de grano (REND)	29
3.7. Análisis Estadístico	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1. Análisis de varianza	31
4.2. Aptitud Combinatoria General (ACG).....	32
4.3. Aptitud Combinatoria Específica (ACE)	35
4.4. Parámetros Genéticos	37
V. CONCLUSIÓN	39
VI. BIBLIOGRAFÍA	40

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 3.1. Genealogía del material genético utilizado como progenitor.....	22
Cuadro 3.2. Cruzas de las diferentes líneas de maíz en elDiseño-II de Carolina del Norte, propuesto por (Comstock y Robinson, 1948).....	22
Cuadro 3.3. Escala de clasificación de cobertura de mazorca (CIMMYT, 1995)...	27
Cuadro 3.4. Escala de calificación de mazorca (pudrición).....	28
Cuadro 4.1. Cuadros medios y nivel de significancia para las 14 características evaluadas en seis líneas de maíz y sus cruzas utilizando el Diseño-II de Carolina del Norte.....	32
Cuadro 4.2. Efecto de aptitud combinatoria general (ACG) de tres macho en las 14 características evaluadas.....	33
Cuadro 4.3 Efecto de aptitud combinatoria general (ACG) de tres hembras en las 14 características evaluadas.....	34
Cuadro 4.4 Efectos deaptitud combinatoria específica (ACE) y nivel de significancia para las 14 características evaluadas.....	36
Cuadro 4.5 Parámetros genéticos.....	38

RESUMEN

El presente estudio se realizó con el objetivo de estimar los parámetros genéticos de líneas y cruzas de maíz y cuantificar los efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) y Específica (ACE). El trabajo se realizó en el Campo Agrícola Experimental de la UAAAN-UL, para lo cual se utilizaron tres líneas procedentes del CIMMYT y tres líneas derivadas de híbridos comerciales. En primavera de 2013 se realizaron los cruzamientos bajo un Diseño genético de Carolina del Norte II, y la siembra de evaluación de las nueve cruzas se realizó el 7 de marzo del 2014. El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con dos repeticiones, en condiciones de riego normal. 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 un área útil de 4.5 m². Se registraron datos de floración masculina (FM), floración femenina (FF), altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), cobertura de mazorca (COB), mazorcas por planta (MzPI), aspecto de planta (AsPI), pudrición de mazorca (PuMz), aspecto de mazorca (AsMz), diámetro de mazorca (DMz), longitud de mazorca (LMz), hileras por mazorca (HMz), granos por hilera (GH) y rendimiento de grano (REND). Los resultados indican que predominó la varianza aditiva, por lo que se recomienda que en estos materiales se utilice un método de mejoramiento que aproveche ó maximice el efecto aditivo como lo es la selección recurrente.

Palabras clave: *Carolina del Norte, mejoramiento genético, varianzas, dominancia, aditividad.*

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz tiene importancia especial, dado que este cereal constituye la base de alimentación de los latinoamericanos (Parsons, 2008). En México es el grano más importante para la alimentación humana y destaca entre todos los cultivos. 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 México se siembran anualmente alrededor de 8.4 millones de hectáreas de maíz (*Zea mays*L.), de las cuales 85.5 % se cultivan bajo condiciones de temporal (secano) y el resto en condiciones de riego, con un rendimiento promedio de 2.2 y 5.7 t ha⁻¹, respectivamente. El bajo rendimiento promedio se debe principalmente a la deficiencia de agua durante la etapa reproductiva de la planta, entre la floración y el llenado de grano, lo que disminuye el rendimiento, número, peso y calidad del grano (Vázquez *et al.*, 2014).

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

Es evidente entonces aumentar la calidad y productividad de este cultivo, mediante 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 (Wong *et al.*, 2007).

Según se ha citado es fundamental que en todo programa de mejoramiento genético, la elección del germoplasma progenitor sea una de las decisiones más importantes que se debe tomar. Al respecto, Gutiérrez *et al.*, (2004) y Castañón *et al.* (2005) mencionan que conocer la aptitud combinatoria de los progenitores, mejora la eficiencia de un programa de mejoramiento. Esto permite seleccionar progenitores con buen comportamiento promedio en una serie de cruzamientos, e identificar combinaciones específicas con un comportamiento superior a lo esperado.

Cabe mencionar que 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 (Malacarne y San Vicente, 2003; Beltrán *et al.*, 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).

Con referencia a lo anterior en este trabajo, se decidió utilizar para el análisis genético el diseño II de apareamiento de Carolina del Norte (Comstock y Robinson, 1948), el cual es básicamente un diseño factorial (Comstock y Robinson, 1952), para la estimación de los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de los individuos empleados como progenitores, y los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de la progenie evaluada, de la misma manera serán estimados los parámetros genéticos Varianza aditiva [σ^2_A], Varianza de dominancia [σ^2_D], varianza ambiental [σ^2_E], heredabilidad en sentido amplio [H^2] y heredabilidad en sentido estricto [h^2].

1.1 Objetivo

Estimar los parámetros genéticos de líneas y cruzas de maíz y cuantificar los efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) y Específica(ACE).

1.2 Hipótesis

Ho: Los parámetros genéticos permitirán conocer y determinar el tipo de acción génica.

HA: Los parámetros genéticos no permitirán conocer y determinar el tipo de acción génica.

Ho: Las líneas y las cruzas simples de maíz evaluadas, presentan efectos iguales de aptitud combinatoria general y específica.

HA: Las líneas y las cruzas simples de maíz evaluadas, presentan efectos diferentes de aptitud combinatoria general y específica.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Mejoramiento de maíz

México tiene una gran diversidad genética de maíz y por tanto, constituye un amplio reservorio de genes importantes para la evolución, conservación y mejoramiento de la especie. La utilización de este reservorio en el mejoramiento genético de esta especie aún es reducida, debido quizá al rendimiento bajo que algunas variedades presentan, y a la alta inversión que implica mejorarlas. En consecuencia, los programas de mejoramiento genético comúnmente utilizan sólo una parte de la diversidad genética disponible, por lo que para formar nuevas variedades mejoradas y ampliar la base genética en una zona determinada, los fitomejoradores necesitan recurrir a la introducción y adaptación paulatina de germoplasma exótico (Gómez *et al.*, 2015).

Debido a que es un especie alógama, el maíz posee gran variabilidad genética. Normalmente, se cruzan tipos de maíz genéticamente diversos para crear poblaciones de maíz (compuestos, complejos genéticos y generaciones avanzadas de cruces de variedades, etc.), que posteriormente son mejoradas mediante selección recurrente. Con frecuencia se libera como variedades de polinización libre mejorada un compuesto recombinado de una población (CIMMYT, 1987).

En ese mismo sentido, el mejoramiento genético convencional, algunas veces asistido por marcadores moleculares, ha sido importante en la generación de variedades más capaces para abastecer las necesidades humanas. Una parte

importante de la ganancia genética en el rendimiento se atribuye a una mayor tolerancia al estrés (Castro *et al.*, 2009).

De acuerdo con Falconer (1989), el mejorador logra el mayor avance en la selección cuando:

- a) Son grandes las diferencias (es decir, la varianza genética) entre los genotipos.
- b) Es muy intensa la selección, es decir, que solo una pequeña porción de los genotipos es seleccionada.
- c) La heredabilidad es alta, es decir, que se pueden evaluar con precisión, en los genotipos estudiados, aquellas características que son valiosas en el medio ambiente objetivo, para luego transmitir las a la progenie de éstos.

En efecto para crear nuevas combinaciones de genes y variabilidad útil entre los genotipos, el mejorador realiza cruza entre progenitores que poseen características deseables o introduce germoplasma nuevo proveniente de otros programas de mejoramiento. Enseguida reduce la amplitud de esta variabilidad seleccionando los pocos genotipos que muestran un comportamiento óptimo en el medio ambiente objetivo (Bänziger *et al.*, 2012).

A manera de resumen final de acuerdo con Chávez (1995), en el proceso y, para la formación de híbridos superiores en maíz se requiere:

- a) Obtener líneas autofecundadas (polinización controlada).
- b) Determinar qué línea producen combinaciones superiores.
- c) Utilizar comercialmente las líneas y cruza para la producción de semilla.

2.2 Formación de líneas de maíz

Como parte del proceso evolutivo las plantas se automejoran por selección natural, aunque a un ritmo muy lento. Dicho proceso evolutivo de las especies vegetales cultivadas ha sido acelerado por el hombre (Reyes, 1990). Fue así como el maíz fue mejorado por el hombre mediante selección masal efectuada a través de un largo tiempo. La siembra en ambientes diversos dio lugar a la amplia variabilidad genética que ahora existe en esta especie (García *et al.*, 2002).

Cabe señalar que en la obtención de líneas de maíz es muy importante la ganancia genética en el rendimiento, sin embargo, llevar a cabo este mejoramiento presenta como mayor inconveniente la larga duración de los numerosos ciclos de selección, lo cual se logra mediante selección recurrente. La efectividad de la selección recurrente es reconocida porque incrementa la frecuencia de genes favorables de una o más características agronómicas bajo selección y mantiene la variabilidad genética para continuar la selección; esto implica un proceso cíclico de muestreo, evaluación y recombinación (Hallauer y Miranda, 1988; Hallauer, 1992).

Según se ha citado, el mejoramiento de poblaciones mediante selección recurrente puede ser inter o intrapoblacional. La selección intrapoblacional involucra el mejoramiento de una población, y los métodos más comunes para hacerlo son la selección masal y la familiar en cualquiera de sus variantes: medios hermanos paternos o maternos, hermanos completos y de autohermanos (líneas

S₁ ó S₂). Teóricamente, el método de hermanos completos es más eficiente que el masal y que el de medios hermanos debido a que permite un mejor control parental, por lo que la respuesta a la selección es de mayor magnitud; sin embargo, tiene la desventaja de ser más caro que los otros (Ramírez *et al.*, 2000).

De acuerdo con Saquimux (2011) la selección es un método de mejoramiento de plantas basado en la selección de individuos que aparecen dentro de una población, razón por la cual se le llama también selección intrapoblacional. Con la semilla de las plantas seleccionadas se procede a mezclarlas y sembrarlas en el siguiente ciclo de siembra, de esta manera se forman una nueva generación con un aumento de los individuos con las características deseable de las plantas seleccionadas o progenitoras.

Resulta oportuno aclarar que durante el proceso de formación de líneas de maíz, la autofecundación, es muy importante, ya que es el acto de fecundar los órganos femeninos de una planta con su propio polen (autopolinizar). Línea autofecundada es aquella que es pura, originada generalmente por autopolinizaciones sucesivas y selección, hasta obtener plantas aparentemente homocigotas. Esto requiere de cinco a siete generaciones de autofecundación (Chávez, 1995).

En ese mismo sentido la formación de híbridos de maíz, involucra la obtención de las líneas por autopolinización controlada, determinar cuáles de las autofecundadas pueden combinarse en cruza productivas y la utilización

comercial de las cruzas para la producción de semilla. Una línea se produce mediante autofecundación y selección hasta que se obtienen plantas aparentemente homocigóticas después de cinco a siete generaciones, esto provoca reducción en el vigor de la planta lo que en ocasiones dificulta la producción de semilla del híbrido (Virgen *et al.*, 2014).

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.

2.3 Hibridación en maíz

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).

En efecto, la heterosis es un fenómeno que se presenta en la mayoría de especies alógamas como el maíz, donde los híbridos superan a sus progenitores en uno o más caracteres entre los que sobresale el rendimiento de grano. Por tanto, los métodos de mejoramiento genético para la formación de híbridos tienen como objeto final capitalizar al máximo la heterosis entre los progenitores seleccionados (Ramírez *et al.*, 2007).

Jugenheimer (1990) señala que la heterosis se manifiesta principalmente en las plantas de la generación F_1 provenientes de semilla. 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. La acción génica puede ser aditiva, no aditiva o una combinación de ambas. El grado de dominancia, la epistasis y las interacciones genético-ambientales se suman a la complejidad del fenómeno de la heterosis.

Gómez y Valdivia (1988) consideran que para obtener mejor respuesta heterótica, sería conveniente combinar germoplasma proveniente de diferentes áreas de adaptación para dar oportunidad de explotar al máximo la heterosis. Puertas (1992) señala que el cruzamiento entre líneas endogámicas produce híbridos con caracteres superiores a los de las líneas progenitoras y a las poblaciones iniciales de donde se obtuvieron tales líneas.

Por otra parte, los híbridos de cruce simple presentan el problema de bajo rendimiento de las líneas endogámicas que los forman (Hallauer *et al.*, 1988), 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 cruce simple, cuyas líneas deben manifestar alta heterosis en la cruce (Hallauer *et al.*, 1988). Según Mollet *al.* (1962) y Prasad y Singh (1986) la heterosis es mayor al aumentar la divergencia genética de los progenitores.

En el orden de las ideas anteriores Chávez (1995) argumenta que, la hibridación es el acto de fecundar los gametos femeninos de un individuo con gametos masculinos procedentes de otro individuo. En el mejoramiento de cultivos alógamos, la hibridación se realiza con los siguientes objetivos:

- a) Explotar el vigor híbrido (heterosis).
- b) Formar ideotipos (arquetipos) específicos para determinados ambientes.
- c) Provocar variabilidad y selección de nuevos materiales.
- d) Seleccionar los materiales que intervendrán como progenitores en las cruces.
- e) Seleccionar la cruce adecuada y deseable de acuerdo con las exigencias del consumidor.

Como ya se ha aclarado, la hibridación en maíz se considera como un método genotécnico que tiene como objetivo principal el aprovechamiento de la generación F_1 (híbrido F_1) provenientes del cruzamiento entre dos poblaciones

(P₁ y P₂) con cualquier estructura genotípica, las cuales pueden ser líneas endogámicas, variedades de polinización libre, variedades sintéticas o las poblaciones F₁ mismas en el caso de las cruzas dobles (Quemé *et al.*, 1991), el valor de los progenitores de un híbrido se puede determinar mediante la prueba de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE).

2.4 Aptitud Combinatoria, General y Específica

Según De la Cruz (2003), 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.

Davis (1927) propuso por vez primera que la aptitud combinatoria de las líneas endogámicas de maíz podrían estimarse mediante el comportamiento de sus cruzas con un probador común y que esta prueba se podría efectuar en cualquier etapa de desarrollo de las líneas. Desde que Sprague y Tatum (1942) introdujeron los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE), surgieron nuevas oportunidades para el uso de pruebas de progenie o mestizos. Con el uso extensivo de líneas, su evaluación se fue haciendo más problemática, por lo que Davis (1927) y Jenkins y Brunson (1932) sugirieron el uso de un probador común para medir la aptitud combinatoria de un gran número de líneas.

Por otra parte la ACG determina el desempeño promedio de una línea en sus combinaciones híbridas, mientras que la ACE separa las combinaciones híbridas específicas que resulten mejor o peor de lo que se esperaría en relación con la media de la ACG de las dos líneas progenitoras (Sprague y Tatum, 1942). Con relación al tipo de acción génica que determina la aptitud combinatoria de las líneas, se considera que la ACG indica la porción aditiva de los efectos genéticos, en tanto que la ACE, los efectos no aditivos, esto es, la acción génica de dominancia y epistasis (Poehlman y Allen, 2003).

En el mismo orden de las ideas anteriores Preciado *et al.*, (2005) señalan que al detectarse efectos mayores en la aptitud combinatoria general, es factible explotar la proporción aditiva de la varianza genética, mediante cualquier variante de selección recurrente; por el contrario, en cruzamientos donde se registra mayor aptitud combinatoria específica, puede implementarse un programa de selección recurrente recíproca o de hibridación.

2.5 Parámetros genéticos

En estudios de genética cuantitativa es importante conocer la variación genética de las poblaciones vegetales en relación con caracteres de importancia económica. La aplicación de metodologías de mejoramiento depende de esta variabilidad, la cual se puede analizar por medio de sus parámetros genéticos (Sprague, 1966).

Entre los parámetros genéticos más importantes se encuentra la heredabilidad; en sentido amplio (H^2), es la porción de la varianza fenotípica que corresponde a la varianza genética total; en sentido estricto (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.

Allard (1980) definió a la heredabilidad como la proporción de la variabilidad observada debida a los efectos aditivos de los genes. Según Brauer (1981), los estudios de heredabilidad son útiles para determinar la proporción de la variación total observada de un carácter que corresponde a factores genéticos y a factores ambientales.

La heredabilidad es un término que se ha usado para indicar el grado en que el fenotipo refleja al genotipo para un carácter particular en una población de plantas; pero lo más importante es la proporción de variación genotípica observada en la planta y que es reflejada en la descendencia. La heredabilidad puede expresarse en dos formas: (1) Como el coeficiente de la varianza genotípica (σ^2_G) entre la varianza fenotípica (σ^2_F), que representa la parte proporcional de la varianza fenotípica u observada atribuible a los efectos totales de los genes de una población, y (2) Como el cociente de la varianza genética

aditiva (σ^2_A) entre la varianza fenotípica atribuible a los efectos aditivos de los genes de la población (Pérez *et al.*, 2000).

Gardner (1963), Robinson y Cockerham (1965) señalan que los parámetros genéticos de mayor interés para genetistas y mejoradores son: varianza aditiva, varianza de dominancia, varianza epistática y la varianza de interacción entre efectos genéticos y ambientales, así como diversas correlaciones, entre las que se hallan las correlaciones genéticas entre caracteres cuantitativos, correlaciones ambientales y correlaciones entre ambientes y genotipos.

La varianza aditiva de una población es la varianza de los valores aditivos de los individuos de la población y es estimada como la suma de cuadrados de los valores aditivos ponderados por sus frecuencias de ocurrencia (Molina, 1992). La magnitud de la varianza aditiva mantiene una relación directa con el parecido entre parientes y es, por lo tanto, el principal determinante de las propiedades genéticas de la población y de la respuesta de ésta a la selección. Más aún, es el único componente que puede ser estimado directamente a partir de las observaciones hechas en la población (Falconer, 1986).

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.

2.6 Diseños genéticos

En poblaciones de especies alógamas como el maíz, están presentes todos los tipos de acción génica: intralocus (aditividad y dominancia), interloci o epístasis de todos los tipos (Molina, 1992). Hasta ahora, los modelos matemáticos para estimar parámetros genéticos de poblaciones ignoran epístasis y suponen equilibrio de ligamiento; los más comunes son: Diseños I, II y III de Comstock y Robinson (1948, 1952) y diseños dialélicos de Griffing (1956). Con base en estos modelos ha sido posible estimar las varianzas genéticas aditiva y de dominancia de diferentes tipos de poblaciones de maíz de polinización libre.

De acuerdo con Falconer y Mackay (1996) la polinización libre genera familias de medios hermanos, por lo que el componente de varianza de familias dentro de grupos ($\sigma^2_{f(g)}$), representa $\frac{1}{4}$ de la varianza genética aditiva (σ^2_A). Esta aseveración supone que los padres no están emparentados y que la endogamia es cero.

Existen varios diseños de análisis dialélico para estimar la aptitud combinatoria general (ACG) y la aptitud combinatoria específica (ACE), pero el más utilizado es el de Griffing (1956) en sus cuatro métodos: 1) Progenitores y sus

cruzas F_1 directas y recíprocas; 2) Progenitores y cruzas F_1 directas; 3) Cruzas F_1 directas y recíprocas; y 4) Cruzas F_1 directas. Singh y Stoskopf (1971) describieron la técnica estadística para el análisis combinado del diseño dialélico de Griffing. Sprague y Tatum (1942) establecieron los conceptos de ACG y ACE.

La evaluación de la ACG y ACE mediante cruzamientos dialélicos es eficiente en la clasificación de progenitores, e identifica fuentes de germoplasma útiles en programas de mejoramiento genético (Castañón *et al.*, 2005). Los diseños dos y cuatro de Griffing han sido utilizados para estimar los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) a partir de sus componentes de varianza (Montesinos *et al.*, 2005).

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 (Baker, 1978).

Siguiendo el mismo orden, en los programas de mejoramiento genético es importante conocer el tipo de acción génica involucrada en la expresión de caracteres de interés económico para desarrollar nuevas variedades. Los análisis dialélicos constituyen una herramienta útil para caracterizar y estimar los parámetros genéticos de progenitores y sus cruzas, mediante su aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), y permiten definir el método de mejoramiento genético más adecuado, predecir cruzas

superiores y seleccionar plantas individuales que combinen las mejores características de los progenitores (Coutiño *et al.*, 2010).

La decisión de qué diseño genético se deba emplear para conocer algunas propiedades genéticas de las poblaciones de interés, estará en función de los objetivos de la investigación. Por norma se debe optar por elegir el más práctico y sencillo, asegurando que proporcione la información requerida (Hallauer y Miranda 1988).

2.6.1 Diseño de Carolina del Norte

De origen, Comstock y Robinson (1948) 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 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 en el maíz) la formación de estas cruces, y lo que se hace es generar f hembras a partir de la autofecundación de cada hembra originalmente muestreada, para que sean polinizadas cada una por uno de los m machos, se generará una nueva situación que amerita un análisis particular.

El diseño II de Carolina del Norte utiliza dos conjuntos de líneas; el primero funcionará únicamente como macho, mientras que el segundo actuará como hembra. Cada uno de los machos es cruzado con cada una de las hembras.

La variación fenotípica obtenida de estas cruzas se divide de acuerdo con: i) diferencias entre machos; ii) diferencias entre hembras; y a la iii) interacción entre machos y hembras (Hinkelman, 2011). Los cuadrados medios de las hembras y de los machos proporcionan estimadores independientes del componente aditivo de variación. Además, los cuadrados medios de la interacción entre los rendimientos de las hembras y de los machos es un estimador de la varianza genética no aditiva.

Al respecto (Kempthorne, 1957), menciona que el diseño de Carolina del Norte II provee información acerca de la aptitud combinatoria general para los machos y hembras y la aptitud combinatoria específica para las cruzas o progenies F_1 . (Comstock y Robinson, (1948), mencionan que el diseño II de Carolina del Norte sirve para demostrar el ligamiento entre loci en la sobredominancia aparente. Se inicia con el cruzamiento de dos líneas homocigotas progenitoras (obteniendo una retrocruza hacia ambos progenitores), obteniéndose $2n$ cruzas posibles.

Por otra parte el diseño II de Carolina del Norte, además de estudiar los efectos de ACG y ACE, es también útil para estimar los efectos maternos y tiene ventajas sobre el dialelo cuando varios parentales están involucrados. Por medio del diseño II de Carolina del Norte se podría estimar tanto el rendimiento, como también, otras características secundarias de ambos parentales (hembra y macho) a través de su comportamiento híbrido (Hallauer y Miranda, 1988).

Con respecto a lo anterior, para el análisis genético utilizando el diseño II de apareamiento de Carolina del Norte (Comstock y Robinson, 1948), su modelo lineal es:

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

$$i=1,2,\dots,m \text{ (machos)}; j=1,2,\dots,h \text{ (hembras)}; k=1,2,\dots,r \text{ (rep)}$$

donde; Y_{ijk} = observación de la cruce entre el i-ésimo macho y la j-ésima hembra en la k-ésima repetición; μ =Media general; M_i y H_j =Efecto del i-ésimo macho y j-ésima hembra; α_{ij} =Efecto de la interacción del i-ésimo macho con la j-ésima hembra; ε_{ijk} =error experimental., (Wong *et al.*,2007).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el campo experimental de la UAAAN-UL, en Torreón, Coahuila como parte del programa de mejoramiento genético en maíz del Departamento de Fitomejoramiento.

3.1. Localización geográfica

El campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, (UAAAN-UL) se localiza geográficamente en las coordenadas $25^{\circ} 33'$ y $27''$ latitud norte, y en los meridianos $103^{\circ} 22' 14.28''$ longitud oeste, con 1120 msnm y El clima es 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- 44kmh (INEGI, 2008).

3.2. Material genético

Se utilizaron tres líneas de maíz derivadas de híbridos del CIMMYT, las cuales conforman el grupo de las hembras y tres líneas derivadas de híbridos comerciales (el grupo de los machos) (Cuadro 3.1), siendo un total de seis líneas parentales evaluadas.

Cuadro 3.1. Genealogía del material genético utilizado como progenitor, 2013.

Líneas	Origen	No. Línea
44	TL-08xA-1638-231	AN-44
42	TL-08B-6605-3xCML312	AN-42
41	TL-088-6605x1xCML442	AN-41
31	T10-6	AN-31
30	T10-5	AN-30
29	T10-3	29

En el ciclo primavera del 2013 se realizaron las cruzas entre las líneas. El sistema de cruzamiento fue de acuerdo al método II de Carolina del Norte (Comstock y Robinson 1948) donde se generaron nueve cruzas (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.

♂/♀	29	30	31
41	41x29	41x30	41x31
42	42x29	42x30	42x31
44	44x29	44x30	44x31

3.3. Descripción de la parcela experimental

Las cruzas generadas bajo el apareamiento Carolina del Norte II fueron evaluadas en el ciclo agrícola primavera-verano de 2014. Se evaluaron las cruzas obtenidas, dentro de un diseño experimental bloques al azar con nueve tratamientos y dos repeticiones. 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 un área útil de 4.5 m² con 36 plantas por tratamiento por repetición y una densidad de 78, 431 plantas por hectárea.

3.4. Siembra

La siembra del experimento se llevó a cabo en el ciclo primavera, el 7 de marzo de 2014, 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.

3.5. Manejo Agronómico

3.5.1. Fertilización

La fertilización se realizó con sulfato de amonio, ácido fosfórico y urea ácida. Se fertilizó con el tratamiento 200-100-00 aplicando el 50% del nitrógeno (100 unidades) 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.

3.5.2. Riego

Se realizaron un total de 26 riegos 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, el sistema de riego utilizado fue presurizado con goteo por cintilla.

3.5.3. Control de maleza

Para el control de maleza se llevó a cabo la aplicación de un herbicida pre-emergente (acetaclor + atrazina), posterior a la siembra y antes de la emergencia de las plantas a la dosis recomendada por la etiqueta del producto 3 l ha⁻¹. Además se utilizó herbicida post-emergente (2,4-D), a la dosis recomendada por la etiqueta del producto 2 l ha⁻¹. De igual manera, para controlar la maleza se hicieron labores manuales utilizando azadón antes del primer cultivo y también se controló de manera manual posterior al último cultivo.

3.5.4. Control de plagas

El problema principal de plagas que se presentó durante el desarrollo del cultivo fue el gusano cogollero. Para el control de las larvas de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), se aplicó Clorpirifosetil (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⁻¹. Para el control de pulga saltona (*Epitrix sp.*) se utilizó una sola aplicación de clorpirifos a una 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 utilizando la dosis recomendada por la etiqueta del producto 400 a 600 ml ha⁻¹ y una aplicación de abamectina utilizando la dosis recomendada por la etiqueta del producto 400 a 600 ml ha⁻¹. Las aplicaciones se realizaron de manera manual con mochila de 20 l.

3.5.5. 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%, dato que se obtuvo con un determinador electrónico Motomco Moisture Meter modelo No 919 serie No A-2937, cosechando todas las mazorcas de cada planta de la parcela útil.

3.6. Variables evaluadas

3.6.1. Días a floración masculina (FM)

Para la floración 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.

3.6.2. 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.

3.6.3. Altura de 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.

3.6.4. 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.

3.6.5. 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.

3.6.6. 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 (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Escala de clasificación de cobertura de mazorca.

Escala de clasificación	Cobertura por brácteas
1. Excelente	Las brácteas cubren apretadamente las puntas de la mazorca y se extiende más allá de ella.
2. Regular	Cubre 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.

3.6.7. Número de mazorcas por planta (MzPI)

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

3.6.8. Aspecto de la mazorca (AsMz)

Después de la cosecha, se expusieron las diferentes 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.

3.6.9. Pudrición de mazorca (PuMz)

En cada parcela, se calificó la incidencia de pudriciones de mazorca y de grano causadas por *Diplodiaspp.*, *Fusarium spp.* o *Gibberellaspp.*, según una escala de 1 a 5, de la siguiente manera (Cuadro 3.4):

Cuadro 3.4. Escala de calificación de mazorca (pudrición).

Escala de calificación	Pudrición de mazorca (%)
1	Igual a 0% de granos infectados
2	Igual a 10% de granos infectados
3	Igual a 20% de granos infectados
4	Igual a 30% de granos infectados.
5	Igual a 40% o más de granos infectados.

3.6.10. 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.

3.6.11. 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.

3.6.12. 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.

3.6.13. Numero 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.

3.6.14. Rendimiento de grano (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 kg ha⁻¹. La fórmula utilizada es la presentada por (Morales, 1993).

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

donde: *PeCa* = Peso de campo de las mazorcas cosechadas por parcela útil en Kg; *AU*= Área de Parcela útil y *Hc* =Humedad de campo o de 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, cuyo modelo estadístico es;

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

Creado por Rodríguez *et al.*, (2015), investigadores del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), se optó por este programa debido a que facilita el análisis de varianza al igual que el análisis genético para el cual se utilizó el 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 %, $DMS\alpha = EE \times t(\alpha^{-1}, glee)$, 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 (Singh y Chaudhary, 1985).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de varianza

En el Cuadro 4.1, se presentan los cuadrados medios de las 14 características evaluadas en el ciclo primavera 2014 usando el diseño II de Carolina del Norte (Comstock y Robinson, 1948). Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las líneas macho (MAC) para altura de mazorca (AM), aspecto de mazorca (AsMz), pudrición de mazorca (PuMz) e hileras por mazorca (HMz), y para rendimiento (REND) las diferencias fueron altamente significativas. Respecto a las líneas hembras (HEM) se observaron diferencias significativas para aspecto de mazorca (AsMz), pudrición de mazorca (PuMz) y rendimiento (REND), por otra parte la variable hileras por mazorca (HMz) mostro diferencias altamente significativas, estos resultados coinciden con los obtenidos por De la Cruz *et al.*, (2003) quienes encontraron diferencias significativas entre híbridos de maíz de distinto origen. Este resultado era de esperarse dada la diversidad de los orígenes de las líneas incluidas en el presente trabajo, como sugieren Vergara *et al.* (2001) y Gutiérrez *et al.* (2002).

Las cruzas machos x hembras (MACxHEM) solo fueron diferentes en la variable diámetro de mazorca (DMz), a pesar de que los factores machos y hembras mostraron diferencias significativas para rendimiento no fue así en la cruz machos x hembras, lo cual podría deberse a la interacción ambiental, ya que ambas líneas proceden de condiciones y adaptación climática diferente, por otra parte es evidente que los efectos del tipo aditivo fueron de mayor importancia.

Los coeficientes de variación, usados como una medida de precisión en la conducción de los experimentos (Kanget *al.*, 1999), para las variables de rendimiento, HMz, GH y REND, fueron de 4.14%, 7.26% y 7.73% respectivamente, valores considerados como aceptable, lo que indico cierta precisión en el muestreo.

Cuadro 4.1 Cuadrados medios y nivel de significancia para las 14 características evaluadas en seis líneas de maíz y sus cruzas utilizando el Diseño-II de Carolina del Norte. Torreón, Coahuila, México. 2014.

FV	gl	FM	FF	AP	AM	AsPL	COB	MzPL
REP	1	5.56*	1.39	776.18**	612.5**	0.06	0.06	0.0
MAC	2	0.67	1.17	24.75	202.2*	0.22	1.72	0.0
HEM	2	2.0	2.0	186	33.34	0.06	0.39	0.0
MACxHEM	4	0.17	0.67	115.2	20.55	0.22	0.47	0.0
EE	8	0.81	0.51	64.6	44.88	0.18	0.43	0.01
CV (%)		1.02	0.78	3.6	5.68	20.69	38.12	10.75
MEDIA		88	90.50	222.74	117.78	2.05	1.72	0.93
FV	gl	AsMz	PuMz	DMz	LMz	HMz	GH	REND(x10 ³)
REP	1	0.06	32.59	0	0.74	0.14	0.76	1.83
MAC	2	0.38*	36.37*	0.03	1.72	1.85*	11.65	3188.26**
HEM	2	0.54*	50.43*	0.01	0.66	2.81**	22.35	4190.50*
MACxHEM	4	0.10	22.33	0.06*	1.72	0.72	3.45	292.42
EE	8	0.09	7.59	0.01	1.71	0.36	7.29	387.04
CV (%)		15.00	130.56	2.07	7.60	4.19	7.26	7.73
MEDIA		2.00	2.11	4.81	17.19	14.31	37.18	8044.55

(*),(**) Valores significativos al 0.05 de probabilidad, (FM) Floración masculina, (FF) Floración femenina, (AP) Altura de planta, (AM) Altura de mazorca, (AsPL) Aspecto de planta, (COB) Cobertura de mazorca, (MzPL) Mazorcas por planta, (AsMz) Aspecto de mazorca, (PuMz) 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)

En el Cuadro 4.2 se presentan los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de las líneas de maíz utilizadas como macho. La línea 29 mostro resultados significativos negativos para las variables FM, FF y REND. Los resultados de esta

línea nos indican que aportara a su descendencia en los cruzamientos una mayor precocidad en FM y FF, por otra parte aportara a un menor rendimiento. La línea AN30 mostro valores positivos ($p \leq 0.05$) para las variables GH y REND. Estos valores nos indican que la línea 30 tiene caracteres de rendimiento muy favorables. La línea 31 mostro valores significativos positivos para las variables AP, AsMz y PuMz. En comparación con la línea 30, la línea 31 nos muestra que tiene caracteres favorables para calidad de grano pero no así para REND.

Cuadro 4.2. Efecto de aptitud combinatoria general (ACG) de tres machos en 14 características evaluadas en el ciclo primavera 2014.

Macho	FM	FF	AP	AM	AsPL	COB	MzPL
29	-0.667*	-0.667*	-3.811	1.844	-0.056	0.278	0.007
AN30	0.333	0.333	-2.578	-2.656	-0.056	-0.222	0.023
AN31	0.333	0.333	6.389*	0.811	0.111	-0.056	-0.029
Macho	AsMz	PuMz	DMz	LMz	HMz	GH	REND
29	-0.083	-1.189	0.048	0.059	0.756*	-1.583	-867.0*
AN30	-0.250	-2.116	-0.019	0.299	-0.578*	2.150*	800.9*
AN31	0.333*	3.305*	-0.029	-0.358*	-0.178	-0.567	65.7

(*), Valores significativos al 0.05 de probabilidad, (FM) Floración masculina, (FF) Floración femenina, (AP) Altura de planta, (AM) Altura de mazorca, (AsPL) Aspecto de planta, (COB) Cobertura de mazorca, (MzPL) Mazorcas por planta, (AsMz) Aspecto de mazorca, (PuMz) Pudrición de mazorca, (DMz) Diámetro de mazorca, (LMz) Longitud de mazorca, (HMz) Hileras por mazorca, (GH) Granos por hilera, (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 aporta la línea 30 y el valor significativo negativo lo aporta la línea 29, por lo tanto con estas observaciones se puede deducir que ambas líneas tienen una buena contribución en la expresión del rendimiento a su progenie.

El Cuadro 4.3 muestra los efectos de ACG de las líneas de maíz utilizadas como hembra. La línea 41 presentó valores significativos negativos para las variables AsMz y GH por otra se observaron valores significativos positivos para las variables LMz, HMz y REND. La línea 42 sólo presentó un valor significativo negativo para la variable AM, para las variables FF y GH los valores fueron significativos positivos. Respecto a la línea 44 presentó valores significativos negativos para la variable de REND, sin embargo mostró valores significativos positivos para las variables de COB, AsMz y PuMz.

Cuadro 4.3. Efecto de aptitud combinatoria general (ACG) de tres hembras en las 14 características evaluadas en el ciclo primavera 2014.

Hembra	FM	FF	AP	AM	AsPL	COB	MzPL
AN41	-0.333	-0.333	0.656	6.211*	-0.222	-0.222	0.000
AN42	0.333	0.500*	-2.278	-5.289*	0.111	-0.389	0.015
AN44	0.000	-0.167	1.622	-0.922	0.111	0.611*	-0.016
Hembra	AsMz	PuMz	DMz	LMz	HMz	GH	REND
AN41	-0.250*	-1.865	0.068	0.616*	0.622*	-1.350*	702.4*
AN42	0.000	-0.926	0.014	-0.258	-0.444	1.433*	50.53
AN44	0.250*	2.791*	-0.082	-0.358	-0.178	-0.083	-753.0*

(*), Valores significativos al 0.05 de probabilidad, (FM) Floración masculina, (FF) Floración femenina, (AP) Altura de planta, (AM) Altura de mazorca, (AsPL) Aspecto de planta, (COB) Cobertura de mazorca, (MzPL) Mazorcas por planta, (AsMz) Aspecto de mazorca, (PuMz) Pudrición de mazorca, (DMz) Diámetro de mazorca, (LMz) Longitud de mazorca, (HMz) Hileras por mazorca, (GH) Granos por hilera, (REND) Rendimiento de grano.

La estimación de la ACG en las líneas hembra mostró que el mayor valor significativo positivo para la variable de REND lo aportó la línea 41; es decir, podría contribuir a un mayor rendimiento, mientras que la línea 44 mostró el peor valor significativo para el rendimiento.

4.3. Aptitud Combinatoria Específica (ACE)

En el Cuadro 4.4 se presentan los valores obtenidos de ACE de las diferentes cruzas, se aprecian resultados significativos negativos en la cruce 29x41 en las variables FF, AsPL y AsMz, los valores significativos positivos se observaron en las variables de rendimiento (AP, DMz, LMz, HMz y REND), este resultado nos indica que una línea con efecto negativo en ACG al cruzarse con una línea de efecto positivo en ACG representan una buena cruce del tipo rendidora. En la cruce 30x41 se obtuvieron valores significativos positivos para las variables AM, AsPL, AsMz y PuMz, por otra parte los valores significativos negativos fueron para las variables de rendimiento LMz, GH y REND, esto indica que dos líneas con efectos positivos en ACG no siempre originan una buena cruce como se esperaría. Para la cruce 31x41 los valores significativos negativos fueron para las variables AP y DMz, solo para la variable FF se obtuvieron diferencias significativas positivas. La cruce 29x42 presentó valores significativos negativos para las variables HMz y REND, los valores significativos positivos se presentaron en las variables AsPL y PuMz. La cruce 30x42 solo presentó un valor significativo negativo en la variable DMz y dos valores significativos positivos en las variables COB y en REND, siendo esta la mejor cruce con el mayor valor de ACE para la variable de rendimiento. En la cruce 31x42 se observaron diferencias significativas negativas en las variables AsPL, COB y PuMz, para las variables DMz y HMz los valores de ACE fueron significativos positivos. La cruce 29x44 mostró valores significativos negativos en las variables AP y DMz, la única variable con efecto significativo positivo fue COB. Las cruces 30x44 y 31x44 presentaron valores significativos en variables de menor interés (FF, COB, AsMz, PuMz).

Cuadro 4.4. Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) y nivel de significancia para las 14 características evaluadas y sus cruzas utilizando el diseño II de Carolina del Norte. Torreón, Coahuila, México 2014.

Cruzas	FM (d)	FF (d)	AP (cm)	AM (cm)	AsPL	COB	MzPL
29x41	0.000	-0.500*	5.811*	2.356	-0.278*	-0.278	0.002
30x41	0.000	0.000	2.178	0.456*	0.222*	0.222	0.014
31x41	0.000	0.500*	-7.989*	-2.811	0.056	0.056	-0.016
29x42	-0.167	0.167	-0.056	0.256	0.389*	-0.111	-0.040
30x42	-0.167	-0.333	1.111	0.956	-0.111	0.389*	-0.001
31x42	0.333	0.167	-1.056	-1.211	-0.278*	-0.278	0.042
29x44	0.167	0.333	-5.756*	-2.611	-0.111	0.389*	0.038
30x44	0.167	0.333	-3.289	-1.411	-0.111	-0.611*	-0.013
31x44	-0.333	-0.667*	9.044*	4.022*	0.222*	0.222	-0.025
Cruzas	AsMz	PuMz	DMz (cm)	LMz (cm)	HMz	GH	REND (t ha ⁻¹)
29x41	-0.167*	-0.605	0.139*	0.834*	0.311*	0.700	328.5*
30x41	0.250*	1.989*	-0.024	-1.136*	-0.156	-1.583*	-406.8*
31x41	-0.083	-1.384	-0.114*	0.301	-0.156	0.883	78.31
29x42	0.083	1.934*	-0.018	-0.542	-0.422*	-0.633	-338.6*
30x42	0.000	0.803	-0.141*	0.368	-0.289	0.433	427.0*
31x42	-0.083	-2.737*	0.159*	0.174	0.711*	0.200	-88.39
29x44	0.083	-1.329	-0.121*	-0.292	0.111	-0.067	10.11
30x44	-0.250*	-2.792*	0.166*	0.768*	0.444*	1.150*	-20.19
31x44	0.167*	4.121*	-0.044	-0.476	-0.556*	-1.083	10.09

(*), Valores significativos al 0.05 de probabilidad, (FM) Floración masculina, (FF) Floración femenina, (AP) Altura de planta, (AM) Altura de mazorca, (AsPL) Aspecto de planta, (COB) Cobertura de mazorca, (MzPL) Mazorcas por planta, (AsMz) Aspecto de mazorca, (PuMz) Pudrición de mazorca, (DMz) Diámetro de mazorca, (LMz) Longitud de mazorca, (HMz) Hileras por mazorca, (GH) Granos por hilera, (REND) Rendimiento de grano.

Los resultados obtenidos de ACE nos muestran que una craza 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, esto concuerda con los resultados obtenidos por Reyes *et al.* (2004). Las mejores cruzas son 29x41 y 30x42 ya que presentaron la mayor ACE en rendimiento. El alto rendimiento de una craza puede deberse a la suma de efectos aditivos de los

genes de las dos líneas progenitoras, o bien, a los efectos de la interacción de los alelos dominantes de un progenitor con los alelos recesivos de otro progenitor (Falconer, 1986). Por otra parte Gutiérrez *et al.* (2002) argumentan que la alta significancia de la ACE muestra la existencia de cruzamientos específicos de un alto valor sobredominante de algunas líneas que pudieran ser utilizados para la formación de híbridos, si sus promedios de rendimiento superan al testigo regional.

4.4. Parámetros Genéticos

Al estimar los componentes de varianza aditiva (σ^2_A), varianza de dominancia (σ^2_D), Varianza ambiental (σ^2_E), Heredabilidad en sentido amplio (H^2) y Heredabilidad en sentido restringido (h^2), para cada una de las variables evaluadas Cuadro 4.5. La varianza aditiva σ^2_A predominó en las variables FM, FF, AM, COB, AsMz, HMz, GH y REND con respecto a la varianza de dominancia (σ^2_D). En la varianza de dominancia (σ^2_D) las variables que presentaron valores superiores en comparación con la varianza aditiva (σ^2_A) son AP, AsPL, PuMz, DMz, LMz. Gutiérrez *et al.* (2002) argumentaron que cuando la varianza no aditiva es mayor que la varianza aditiva, este comportamiento se atribuye a una baja acumulación aditiva de genes para rendimiento en los cruzamientos, con predominio de las líneas con expresión de sobredominancia para esta característica, donde se refleja la existencia de interacción de genes (ACE) al realizar la cruce. Hallauer y Miranda (1988) señalan que otra 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 alta probabilidad de que sobresalga este tipo de acción génica.

En el caso de heredabilidad en sentido amplio (H^2) fue superior a la heredabilidad en sentido restringido (h^2) en la mayoría de las variables analizadas, lo cual se debe al efecto de la varianza de dominancia. Aunque la heredabilidad en sentido restringido (h^2) presentó un valor muy alto en la variable de rendimiento esto se debió a que la varianza de dominancia (σ^2_D) fue igual a cero en la misma variable analizada.

Cuadro 4.5. Parámetros genéticos de 14 características evaluadas en nueve híbridos de maíz utilizando el diseño II de Carolina del Norte. Torreón, Coahuila, México 2014.

Variabes	σ^2_A	σ^2_D	σ^2_E	H^2	h^2
FM	0.778	0.000	1.611	0.326	0.326
FF	0.611	0.306	1.028	0.471	0.314
AP	0.000	101.17	129.26	0.439	0.000
AM	64.82	0.000	89.750	0.419	0.419
AsPL	0.000	0.083	0.361	0.188	0.000
COB	0.389	0.083	0.861	0.354	0.292
MzPL	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000
AsMz	0.236	0.035	0.174	0.609	0.531
PuMz	14.05	29.48	15.173	0.742	0.239
DMz	0.000	0.096	0.026	0.787	0.000
LMz	0.000	0.022	3.415	0.006	0.000
HMz	1.076	0.707	0.724	0.711	0.429
GH	9.032	0.000	14.576	0.383	0.383
REND	2264636.38	0.000	774096.234	0.745	0.745

σ^2_A = Varianza Aditiva, σ^2_D = Varianza de dominancia, σ^2_E = Varianza ambiental, H^2 = Heredabilidad en sentido amplio, h^2 = Heredabilidad en sentido restringido.

V. CONCLUSIÓN

Los progenitores con mayor ACG fueron 30 y 41, por sus valores positivos. Las cruzas de mayor ACE fueron 30x42 y 29x41.

Los resultados obtenidos de ACE mostraron que una cruce 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.

En este tipo de cruzamientos predominó la varianza aditiva, siendo el valor de mayor importancia, por lo que se recomienda que en estos materiales se utilice un método de mejora que aproveche o maximice el efecto aditivo como lo es la selección recurrente, además, incrementar las líneas sobresalientes, analizar y seleccionar para producir híbridos comerciales.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Allard, R. W. 1980. Principios de la Mejora Genética de las Plantas. EOSA. España. 498p.
- Baker, R. J. 1978. Issues in diallel analysis. *Crop Sci.* 18: 533-536.
- Bänziger, 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. p. 1-5.
- 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. *CropSci.* 4: 707-806.
- Brauer, H, O. 1981. Fitogenética Aplicada. ELSA. Primera impresión. México. 518p.
- Castañón, N. G.; Latournerie, M. L. y Mendoza, E. M. 2005. Macro de SAS-IML para analizar los diseños II y IV de Griffing. *Universidad y Ciencia* 21: 27-35.
- Castro, M, I., López, P, M, C., González, H, V, A. 2009. Evaluación morfo-fisiológica de brotes de maíz sometidos a selección *in vitro* bajo estrés osmótico. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 32 (4): 281-288.
- 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. 1995. Mejoramiento de plantas 2: Métodos Específicos de Plantas Alógamas. 1 Ed. Trillas-UAAAN. México, D.F. 83 p.

- Comstock, R. E., and H. F. Robinson. 1952. Estimation of average dominance of gene. In: J. W. Gowen (Ed.) Heterosis. Hafner Publishing Company. NY. pp.:449-516.
- Comstock, RE; Robinson, HF. 1948.The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance.Biometrics 4:254-266.
- Coutiño, E, B., Vidal, M, V, A., Cruz, G, B., Cruz, V, C. 2010. Aptitud combinatoria general y específica del contenido de azúcares en maíces criollos eloteros. Revista Fitotecnia Mexicana. 33 (4): 57-61.
- Davis, R, L. 1927. Repor of the plant breeder.Rep. Puerto Rico. Agric. Exp. Stn. pp; 14 –15.
- De la Cruz, L, E., Gutiérrez, D, E., Palomo, G, A., Rodríguez, H, S. 2003. Aptitud combinatoria y heterosis de línea de maíz en la Comarca Lagunera. RevistaFitotecniaMexica. 26(4): 279-284.
- Falconer D S, T F C Mackay (1996)Introduction to Quantitative Genetics.4ta. ed. Longman, Exxex, UK. 464p.
- Falconer, D, S. 1986. Introducción a la Genética Cuantitativa. Trad. de la 2a. Ed. En inglés en 1981. F. Márquez S. CECSA. México. 383 p.
- Falconer, D.S. 1989. IntroductiontoQuantitativeGenetics, *3rd Edition*. Londres: Longman.
- García J, J López R, J Molina G, T Cervantes S (2002)Selección masal visual estratificada y de familias de medios hermanos en una craza intervarietal F2 de maíz. Revista Fitotecnia Mexicana. 25:387-391

- Gardner, C. O. 1963. Estimates of genetic parameters in cross-fertilizing plants and their implications in plant breeding. In: Statistical Genetics and Plant Breeding. National Academic Science-National Research Council. Pub. 982. Washington, D. C. pp. 225-252.
- Gómez N M, B R Valdivia (1988) Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 11: 103-120.
- Gómez, E, A., Molina G, J., García Z, J., Mendoza C, M., De la Rosa L, A., 2015. Poblaciones exóticas originales y adaptadas de maíz. I: Variedades locales de clima templado x Variedades tropicales. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 38 (1): 57- 66.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9: 463-493.
- Gutiérrez, D, E., Palomo, G, A., Espinoza, B, A., De la cruz, L, E. 2002. Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la Comarca Lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 25 (3): 271-277.
- Gutiérrez, del R. E.; Espinoza, B. A.; Palomo, G. A.; Lozano, G. J. y Antuna, G. O. 2004. Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la Comarca Lagunera. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27:7-11.
- Hallauer A, R. 1992. Recurrent selection in maize. *Plant Breed. Rev.* 9:115-179.
- Hallauer A, R., W, A., Russell, K, R., Lamkey. 1988. Corn breeding. In: *Corn and Corn Improvement*. G F Sprague, J W Dudley (eds). Third Ed. ASA, CSSA, SSSA, Madison. Wi. pp: 469-564.

- Hallauer, RA; Miranda, FO. 1988. Quantitative genetics in maize breeding. The Iowa State University Press Ames, Iowa, USA. 468p.
- Hayes H. K. 1952. Development of the heterosis concept. Edit John W. Low. StaColl Press. pp. 49-60.
- Hinkelman K., Kemthorne O. 2011. Design and analysis of experiments. Wiley series. Volumen 2. Advanced Experimental Designs.
- INEGI (Instituto Nacional de Geografía y Estadística). 2008. Atlas nacional interactivo de México. [En línea]. Estado de Coahuila. <http://www.inegi.org.mx>. [Consultado 14 octubre 2014].
- Jenkins, M. T. and A. M. Brunson. 1932. Methods of testing inbred lines of maize in cross-bred combinations. J. Am. Soc. Agron. 24:523-530.
- Jugenheimer, W, R. 1990. Maíz: Variedades Mejoradas Métodos de Cultivo y Producción de Semilla. Trad. R, Piña, G. Ed. Limusa. Cuarta reimpresión. México. 841p.
- Kang S, M., Kushairi D, A., Zhang Y., Magari R. (1999). Combining ability for rind puncture resistance in maize. Crop Sci. 39: 368-371.
- Kempthorne, O. 1957. The correlations between relatives in a random mating population. Proc. Royal Soc. London, B. 143: 103-113.
- Lamkey, K.R and A.R. Hallauer 1987. Heritability estimated from recurrent selection experiments in maize. Maydica 32:61-78.
- Malacarne, M. F. y F. M San Vicente G. 2003. Patrones heteróticos de líneas tropicales blancas de maíz. CropSci. 39: 368-371

- Molina G., J. D. 1992. Introducción a la Genética de Poblaciones y Cuantitativa (algunas implicaciones en Genotecnia). AGT Editor, México, D.F. 349p.
- Moll R, H, W S Salhuana, H F Robinson (1962) Heterosis and genetic diversity in variety crosses of maize. *CropSci.* 2:197-198.
- Montesinos, L. O. A.; Martínez, G. A.; Mastache, L. A. A. y Rendón, S. G. 2005. Mejor predictor lineal e insesgado para aptitud combinatoria específica de los diseños dos y cuatro de Griffing. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 28:369-376.
- 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. 55p.
- Parsons, B., D. 2008. Manuales para educación agropecuaria. Maíz. 3ed. Trillas. México. 9p.
- Pérez, G, M., Sahagún, C, J., Peña, L, A., Alvarado, N, F., Aguilar, G, A. 2000. Estimación de varianza aditiva y heredabilidad en dos poblaciones de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Fitotecnia Mexicana.* 23: 49-58.
- Poehlman, J. M. y Allen, D. 2003. Mejoramiento Genético de las cosechas. Guzmán, O. M.; Hernández, C. M. A. y Serrano, C. L. M. (Trad.). Editorial Limusa. México. 506p.
- Prasad S K, T P Singh (1986) Heterosis in relation to genetic divergence in maize (*Zea mays* L.). *Euphytica* 35:919-924.

- Preciado, O. R. E.; Terrón, I. A. D.; Gómez, M. N. O. y Robledo, G. E. I. 2005. Componentes genéticos en poblaciones heterotípicamente contrastantes de maíz de origen tropical y subtropical. *Agron. Mesoam.*16:145-151.
- Puertas, G, M. 1992. *Genética, Fundamentos y Perspectivas*. McGraw-Hill. España. 741p.
- Quemé, D, J, L., Larios, B, L., Pérez, R, C., Soto, L, N. 1991. Aptitud combinatoria y predicción de híbridos de maíz (*Zea mays*L.) de grano amarillo a partir de cruces dialélicas, evaluadas en dos Localidades de la zona baja de Guatemala. *Agronomíamesoamericana*. 2:24-30.
- R. K. Singh, B. D. Chaudhary. 1985. *Biometrical Methods in Quantitative Genetics Analysis*. Kalyani Publishers. 318p.
- Ramírez, D, J, L., Chuela, B, M., Vidal, M, V, A., Ron, P, J., Caballero, H, F. 2007. Propuesta para formar híbridos de maíz combinando patrones heteróticos. *Fitotecnia mexicana*. 30(4): 453-461.
- Ramírez, D, J, L., Ron, P, J., Sánchez, G, J, D., Chuela, B, M. 2000. Selección recurrente en la población de maíz subtropical PABGT-GE. *Agrociencia*. 34 (1): 33-39.
- Reyes C P (1990) *El Maíz y su Cultivo*. AGT Editor. México, D. F. 460 p.
- Reyes, L.D., Molina, GJD., Oropeza, RMA., Moreno, PEC. 2004. Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27(1):49-56.
- Robinson, H. F., y C. Cockerham. 1965. Estimación y significado de los parámetros genéticos. Trad. por M. Gutiérrez. *Fitotecnia Latinoamericana*. 2:23-38.

- Rodríguez, Francisco; Alvarado, Gregorio; Pacheco, Ángela; 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].
- SAGARPA. 2014. Informe de evaluación de impacto Proyecto estratégico de producción de maíz. (<http://www.sagarpa.gob.mx>)
- Saquimux, C, F, I. 2011. Selección masal en el cultivo de maíz (*ZaamaysL.*) para pequeños agricultores. 1 ed. PROETTAPA y el ICTA. Quetzaltenango, Guatemala. 8p.
- Singh I D, N C Stoskopf. (1971) Harvest index in cereals. *Agron. J.* 63:224-226.
- Sprague, G. F. 1966. Quantitative genetic in plant improvement. In: K. J. Frey (ed.) *Plant Breeding Symposium at Iowa State Univ. Ames, IA.* pp: 315-354.
- Sprague, G. F. and Tatum, L. A. 1942. General vs. Specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34:923-932.
- Vázquez, C, M., Arellano V, J., Santiago R, D. 2014. Rendimiento y calidad de grano y tortilla de maíces híbridos de Valles Altos de México crecidos en riego y temporal. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 38 (1): 75 -83.
- Vergara A, N, S., Rodríguez, H, H, De León, C, S., McLean, S, K, Vasal. 2001. Aptitud combinatoria de líneas de maíz tropical con diferentes tipos de mazorca. *Revista Fitotecnia Mexicana* 24(2): 203-212.
- Virgen, V, J., Zepeda, B, R., Ávila, P, M, A., Espinoza, C, A., Arellano, V, J, L., Gámez, V, A, J. 2014. Producción de semilla de líneas progenitoras de maíz: Densidad de población e interacción. *Agron. Mesoam.* 25(2):323-335.

Wong, R, R., Gutiérrez, del R., Palomo, G, A., Rodríguez, H, S., Córdova, O, H., Espinoza, B, A., Lozano, G, J. J. 2007. Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la Comarca Lagunera. *Revista Fitotecnia Mexica*. 30 (2): 181-189.