

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN LÍNEAS
CONTRASTANTES DE MAÍZ EN CONDICIONES DE RIEGO**

**POR
MARIO HÉCTOR ZAVALA PARRA**

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

APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN LÍNEAS CONTRASTANTES DE
MAÍZ EN CONDICIONES DE RIEGO

POR
MARIO HÉCTOR ZAVALA PARRA

TESIS

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

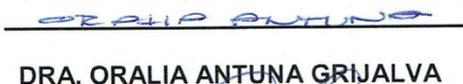
INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADO POR

ASESOR PRINCIPAL:


DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

ASESOR:


DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA

ASESOR:


M. C. JOSÉ LUIS COYAC RODRÍGUEZ

ASESOR:


ING. JOSÉ ALONSO ESCOBEDO

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



TORREÓN, COAHUILA, MEXICO.

MARZO DE 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN LÍNEAS CONTRASTANTES DE
MAÍZ EN CONDICIONES DE RIEGO

POR
MARIO HÉCTOR ZAVALA PARRA

TESIS

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

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR

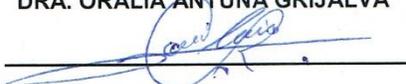
PRESIDENTE:


DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

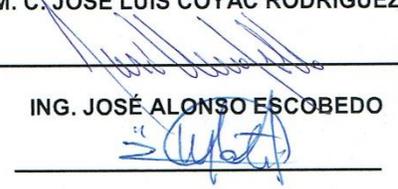
VOCAL:


DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA

VOCAL:


M. C. JOSÉ LUIS COYAC RODRÍGUEZ

VOCAL:


ING. JOSÉ ALONSO ESCOBEDO

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



TORREÓN, COAHUILA, MEXICO.

MARZO DE 2016

DEDICATORIAS

A mi padre Mario Héctor Zavala Anaya por su apoyo incondicional en todo lo que he decidido y al decidir estudiar agronomía, por impulsarme cada día a ser mejor, enfrentar nuevos retos y estar siempre ahí para cuando lo necesito en todos los ámbitos de mi vida tanto profesional como personal por eso y por muchas otras cosas en que me ha demostrado su amor y cariño.

A mi madre Miriam Parra Jiménez por ser mi ejemplo y haberme puesto siempre en el camino y en las manos de Dios, por tus oraciones, tus llamadas de atención, y por confiar en mí en la toma de decisiones y nunca impedirme a realizar mis metas y objetivos, estar cada día apoyándome en todas las áreas en que me desarrollo, le doy gracias a mi Dios por darme una madre como tú.

A mi familia por su inmenso amor y cariño de mis tíos, primos y mi abuela Irma que han estado en los momentos importantes de mi vida, tanto en los buenos como en los difíciles, espero algún día serles de bendición a su vida como usted han sido para la mía. A todos mis tíos y primos que han sido una bendición.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, no alcanzarían las palabras para expresar lo agradecido que estoy con el primeramente por permitirme conocer a su hijo Jesucristo, por ser mi salvador y mi padre y estar en cada instante de mi vida, y todo lo que llegue a realizar sea para la gloria de su nombre.

A la **UAAAN** por darme la oportunidad de cursar mis estudios y darme una formación integral, que por cuatros años y medio me dio cabida entre sus instalaciones para poder desarrollarme como profesional, la considero mi casa, orgulloso diré que pertenezco a la Narro y espero un día regresar algo de lo mucho que me dio esta maravillosa universidad.

Al **Dr. Armando Espinoza Banda** por permitirme colaborar en el proyecto de mi tesis, por sus consejos, experiencias y conocimiento que me transmitió en las aulas de clase, como en el trabajo en el campo y en las horas de oficina por su apoyo y dirección muchas gracias.

A **mis Asesores** la Dra. Oralia Antuna Grijalva, el M.C José Luis Coyac Rodríguez y al Ing. José Alonso Escobedo por brindarme sus conocimientos además de su compañía y amistad y hacer ameno el trabajo de día a día, son una inspiración.

Al **Dr. Axel Tiessen Favier** por haberme dado la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales en su laboratorio e inspirarme hacer más profesional en mi trabajo, gracias por poner su confianza en mí para ser partícipe de los proyectos de investigación.

A **mis profesores** en especial a mi tutor, el Ing. Heriberto Quirarte Ramírez por sus consejos, sus palabras de aliento y reflexión en cada semestre de mi formación, y también por brindarme su amistad sincera.

A **los compañeros del Laboratorio** de Metabolómica y fisiología molecular Sharon, Jessica, Irvin, Cecy, Adrián, Martin, el Dr. Andrés, Sheila, Cristal, Benjamín, Obed, Medina, Sofí, Luis y especialmente al Ing. Edgar Cubedo que con su ejemplo aprendí mucho de él, me animo y me hizo sentir en familia en esta etapa de mi carrera que fueron mis practica profesionales.

A **mis amigos** de la generación, por brindarme su amistad y confianza, no quisiera dar nombres para evitar olvidar a uno pero saben que los considero mis amigos, si en algo les puede servir fue un gusto haber convivido con ustedes 4 años y medio entre aulas, laboratorios, pasillos, gracias por esos momentos tan gratos, muchas gracias buitres.

A **los compañeros y amigos de tesis**, Zapata, Zamora, Axel, Maximiliano, Chon, Aldo, Jessi, Braulio, Cayo, de cada uno de ustedes aprendí algo, fueron ejemplo para mí del trabajo duro y a siempre aspirar hacer mejor, y sin su ayuda este trabajo no hubiera sido posible.

RESUMEN

El presente experimento se llevó a cabo con el objetivo de estimar los efectos de Aptitud Combinatoria General y Aptitud Combinatoria Especifica en 12 progenitores y en sus respectivas cruzas, además de cuantificar la heterosis potencial de las cruzas respecto a los progenitores. El trabajo se realizó en el Campo Agrícola Experimental de la UAAAN-UL. Se utilizaron 2 líneas procedentes de CIMMYT y diez líneas derivadas en la UAAAN-UL. En primavera de 2013, se efectuaron los cruzamientos usando un Diseño genético de Carolina del Norte II, y el 7 de marzo de 2014 se realizó la siembra de evaluación de las cruzas creadas. El diseño experimental que se utilizó fue el de bloques al azar con dos repeticiones, en condiciones de riego normal. Se constituyó la parcela útil con dos surcos de 3.0 m de largo y 0.75 m de ancho con distancia entre plantas de 0.17 m, dando como 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), mazorca por planta (MzPI), diámetro de mazorca (DMz), longitud de mazorca (LMz), hileras por mazorca (HMz), granos por hilera (GH) y rendimiento (Rend). La cruz 2 X 28 fue la de mayor rendimiento de grano (10, 869 kg/ha) y la de mayor heterosis porcentual fue la 1 x 25.

Palabras clave: *Carolina del Norte II, aptitud combinatoria, heterosis porcentual.*

INDICE GENERAL

DEDICATORIAS	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	iv
INDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
I. INTRODUCCION.	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Mejoramiento genético	4
2.2. Aptitud Combinatoria.....	4
2.2.1. Aptitud Combinatoria General.....	6
2.2.2. Aptitud Combinatoria Específica	6
2.3. Líneas	7
2.4. Híbridos	7
2.4.1. Híbridos simples	8
2.4.2. Híbridos dobles.....	9
2.4.3. Híbridos trilineales	9
2.5. Heterosis.....	10
<i>Hipótesis de la dominancia</i>	10
<i>Hipótesis de la sobredominancia</i>	11
2.6. Diseños Genéticos	13
2.6.1. Diseño Carolina del Norte II	13
2.7. Fenotipo	14
2.8. Genotipo.....	14
2.9. Interacción Genotipo Ambiente	15
III. MATERIALES Y METODOS.....	16
3.1. Localización del sitio experimental.....	16
3.2. Clima	16
3.3. Temperatura	16
3.4. Precipitación	16
3.5. Material Genético	16
3.6. Descripción de la parcela experimental	18

3.7. Preparación del terreno.....	19
3.8. Siembra	19
3.9. Manejo Agronómico.....	19
3.9.1 Fertilización	19
3.9.2. Riego.....	20
3.9.3. Control de maleza	20
3.9.4. Control de plagas.....	20
3.9.5. Cosecha	21
3.10. Variables evaluadas.....	21
3.10.1. Días a floración masculina (FM)	21
3.10.2. Días a floración femenina (FF).....	22
3.10.3. Altura de planta (AP)	22
3.10.4. Altura de mazorca (AM)	22
3.10.5. Mazorca por planta (MzPl).....	23
3.10.6. Diámetro de la mazorca (DMz)	23
3.10.7. Longitud de la mazorca (LMz)	23
3.10.8. Número de hileras por mazorca (HMz).....	23
3.10.9. Número de granos por hilera (GH).....	23
3.10.10. Rendimiento de grano (Rend).....	24
3.11. Análisis estadístico	24
3.12. Heterosis porcentual	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1. Análisis de Varianza.....	26
V. Conclusiones.....	35
VI. BIBLIOGRAFIA.....	37

ÍNDICE DE CUADROS

PAG

Cuadro 3.1. Genealogía de material genético utilizado como progenitores, 2013	17
Cuadro 3.2. Cruzas posibles de 12 progenitores, bajo el diseño II de Carolina del Norte	17
Cuadro 3.3. Genealogía de las 35 cruzas generadas de 12 progenitores bajo el diseño II de Carolina del Norte.	18
Cuadro 4.1. Cuadrados medios y nivel de significancia para 10 características evaluadas 35 cruzas formadas de siete líneas Hembras (H) y cinco Machos (M) de maíz con el Diseño-II de Carolina del Norte. Torreón, Coahuila, México. 2014.	26
Cuadro 4.2. Valores medios de 10 variables cuantificadas en cinco líneas utilizadas como Machos (M) en un Diseño-II de Carolina del Norte	27
Cuadro 4.3. Valores medios de diez variables cuantificadas en siete líneas utilizadas como hembras (H) en un Diseño-II de Carolina del Norte	28
Cuadro 4.4. Valores medios de 20 cruzas simples en diez variables generadas a partir del Diseño II de Carolina del Norte.	29
Cuadro 4.5. Efecto de aptitud combinatoria general (ACG) de siete hembras y cinco machos en 10 características evaluadas en el ciclo primavera 2014.	31
Cuadro 4.6. Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE).	33
Cuadro 4.7 Efecto de heterosis porcentual es las 35 cruzas evaluadas en el ciclo primavera-verano 2014.	34

I. INTRODUCCION.

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es el cereal más importante y explotado en el mundo, donde la producción mundial de maíz en el 2015 fue de 1009.68 millones de toneladas y la proyección para 2015/2016 es de 969.4 millones de toneladas (USDA, 2016).

México es el centro de origen de este cultivo y ocupa el octavo lugar como productor de maíz en el mundo con una producción de 22, 663,953.35 millones de toneladas en 2014. En la Comarca Lagunera se obtuvieron 10,059 toneladas en maíz de grano (SAGARPA, 2015).

El crecimiento de población a nivel mundial ha ido en aumento de manera más rápida las últimas décadas, a su vez también la demanda de alimentos. Se ha vuelto necesario proveer de materias primas para la industria de alimentos en mayor cantidad por unidad de superficie cultivable, para ello se necesita producir cultivos con mayor resistencia a factores bióticos y abióticos. El mejoramiento genético en este caso de maíz es una alternativa para contribuir con las formación de variedades e híbridos de alto potencial, superiores a sus progenitores en mayor eficiencia fisiológica y resistencia a factores ambientales adversos; el resultado de este conjunto de características se verá reflejado en un incremento en el rendimiento (Chávez, 1993).

Existen dos componentes de igual importancia en el mejoramiento del maíz que son: la elección del germoplasma y el desarrollo para su uso híbrido (Guillen-De la Cruz *et al.*, 2009). En los últimos años se ha buscado rastrear individuos que expresen una mayor cantidad de heterosis.

Todo híbrido de maíz presenta un grado de heterosis, Gowen (1952) define la heterosis como el exceso de vigor de una F1 en comparación con el promedio de sus parentales; por otro lado, Escorcia-Gutiérrez *et al.*, (2010) lo menciona como base del mejoramiento a través de híbridos.

La heterosis puede estimarse como la diferencia entre el valor fenotípico del híbrido y el de su progenitor medio o superior (Falconer y Mackay, 1996).

Crow (1999) menciona que la heterosis se presenta primordialmente por los efectos de interacción entre alelos o dominancia. La heterosis, según Allard (1960), postula dos hipótesis por la cual se presenta este fenómeno: la dominancia y la sobre-dominancia.

Una manera de calcular la heterosis porcentual en un híbrido es conociendo su ACG y ACE, cuyos términos fueron acuñados por Sprague y Tatum (1942). La ACG es una prueba que valora la herencia de cada línea, es decir la cuantía de los efectos genéticos aditivos y la ACE calcula la cuantía de efectos de genes de acción no aditiva, primordialmente de genes de dominancia, epistasis e interacciones con el ambiente (Chávez, 1995).

1.1. Objetivos

Estimar los efectos de Aptitud Combinatoria General y Aptitud Combinatoria Especifica en los progenitores y en las cruzas.

Cuantificar la heterosis porcentual de las cruzas respecto a los progenitores.

1.2. Hipótesis

Ho: Los efectos de ACG Y ACE difieren entre los padres y entre cruzas respectivamente para las variables cuantificables.

Ha: Los efectos de ACG y ACE no difieren entre padres y entre cruzas respectivamente para las variables cuantificables.

Ho: Con base a la diferencia entre progenitores se espera encontrar efectos significativos de heterosis en los caracteres cuantitativos relacionados con rendimiento.

Ha: Con base a la diferencia entre progenitores no se espera encontrar efectos significativos de heterosis en los caracteres cuantitativos relacionados con el rendimiento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Mejoramiento genético

Para el mejoramiento del maíz (*Zea mays* L.) se lleva a cabo un proceso continuo como lo es buscar la formación de híbridos con fines comerciales (De la Cruz *et al.*, 2003).

Para poder tener un programa de mejoramiento genético exitoso, haciendo énfasis en el uso y desarrollo de líneas con el propósito de formar híbridos, la base de esto será la selección del germoplasma que se utilizara dentro del programa. De igual manera el mejorador requiere de un extenso conocimiento sobre la acción génica de los materiales a utilizar y los caracteres de mayor peso económico como son el rendimiento, la resistencia a plagas y menor susceptibilidad a las enfermedades, entre otras. Lo anterior permitirá elegir el mejor esquema de mejoramiento que maximice la varianza genética y de esta forma incrementar y fijar la frecuencia de genes favorables en la población parental (Navarro *et al.*, 1993).

2.2. Aptitud Combinatoria

La aptitud combinatoria es un método que permite evaluar y conocer la habilidad para combinar ciertas líneas y crear nuevos híbridos con

características deseables, como también evaluar si los caracteres son de índole aditivo o no (Mingramm, 2012).

Para poder determinar el desempeño promedio de una línea en sus combinaciones híbridas se utiliza la prueba de ACG (Aptitud Combinatoria General), mientras que la ACE separa las combinaciones híbridas específicas que resultan mejor o peor de lo que se esperarían en relación con la media de la ACG de las dos líneas progenitoras (Sprague y Tatum, 1942).

Márquez (1988) define el término de aptitud combinatoria como la facultad que presenta un individuo o población para conjuntarse con otros, medida por medio de su progenie.

Para poder tener una mejor selección de aquellas plantas que exhiban mayor aptitud combinatoria debe determinarse no solo de un individuo sino en varios individuos de la población (De la Cruz *et al.*, 2003).

El conocer la heredabilidad de un carácter es de importancia para poder mejorarlo dentro de una población; si la heredabilidad del carácter es alta, el efecto de la selección pudiera ser mayor (Mingramm, 2012).

2.2.1. Aptitud Combinatoria General

Se puede definir como Aptitud Combinatoria General (ACG) al desempeño promedio de una línea pura en ciertas combinaciones híbridas, también nos brinda información sobre las líneas con un mayor nivel de endogamia que pueden producir los mejores híbridos (Jugenheimer, 1981).

Si la Aptitud Combinatoria General (ACG) presenta una mayor significancia, se estima que el efecto aditivo en la determinación de la heredabilidad será mayor (Mingramm, 2012). Preciado *et al.* (2005) registra que cuando los efectos de la Aptitud Combinatoria General son mayores, es viable explotar la proporción aditiva de la varianza genética con que se dispone usando cualquier variante de la selección recurrente.

2.2.2. Aptitud Combinatoria Específica

La Aptitud Combinatoria Específica (ACE) es el comportamiento de las combinaciones específicas de una línea en relación al comportamiento de donde provienen. Es el producto del efecto conjunto de dos líneas específicas, por lo que a diferencia de la aptitud combinatoria general, esta es medida como la desviación de la suma de la media general más las aptitudes combinatorias de los padres (Sprague y Tatum, 1942).

De las interacciones entre alelos se da el efecto no aditivo; incluyen los efectos de dominancia que se generan de la interacción entre alelos del mismo locus; los efectos epistáticos, dependen de las combinaciones de alelos en múltiples loci (Falconer y Mackay, 1996).

Los efectos no- aditivos tiene relación con la significancia de la Aptitud Combinatoria Especifica (Mingramm, 2012).

A diferencia de la Aptitud Combinatoria General en las cruzas donde se detecta mayor efecto de la Aptitud Combinatoria Especifica, puede implementarse una selección recurrente reciproca o de hibridación (Preciado *et al.*, 2005)

2.3. Líneas

Las plantas de líneas puras son aquellas que son desarrolladas a través de varios ciclos de autofecundación, y son difíciles de diferenciar unas de otras, cuando esto se presenta, a la línea se le clasifica como altamente homocigota, esto quiere decir que todas las plantas de esa línea tiene una misma constitución genética en lo referente a las unidades de herencia. A través de su polen como de sus óvulos estas unidades se trasmiten al 100 %. La disminución del vigor por efecto de la endogamia se equilibra después de cinco a siete generaciones de autofecundaciones. A esta disminución de vigor se le denomina depresión endogámica (Chávez, 1995).

2.4. Híbridos

Una de las razones por la que en estos últimos años ha ido en aumento la producción mundial de alimentos es por el desarrollo y la utilización de maíz

híbrido. Estados Unidos de América que ocupa el primer lugar en la producción de maíz, casi toda la superficie sembrada destinada para este cultivo es ocupada por maíz híbrido. También en México el incremento en la producción nacional de maíz se debe al uso que se le da dado a las variedades híbridas. Al igual en otros países la utilización de maíz híbrido tiene como resultado un incremento en la producción (Betancourt *et al.*, 1974).

Un híbrido es la primera generación (F1) entre dos tipos claramente diferentes. En el caso del mejoramiento del maíz, el término híbrido implica un requerimiento específico y diferente, o sea que el híbrido F1 es usado para la producción comercial. El híbrido debe mostrar un razonable alto grado de heterosis para que el cultivo y su producción sean económicamente viables (Paliwal *et al.*, 2001).

Según Chávez (1995) para la formación de híbridos superiores de maíz se requiere:

- a. Obtener líneas autofecundadas
- b. Determinar que líneas producen combinaciones superiores
- c. Utilizar comercialmente las líneas y las cruzas para la producción de semilla.

2.4.1. Híbridos simples

Los híbridos simples son el resultado del cruzamiento de dos líneas u otros materiales. La primera generación F1 de un híbrido simple produce las

plantas y mazorcas más uniformes, así también expresa los rendimientos más altos en comparación a cualquier tipo de híbrido (Chávez, 1995).

2.4.2. Híbridos dobles

Las cruzas dobles se forman a partir de cuatro líneas autofecundadas, es decir, son la progenie híbrida obtenida de una craza entre dos cruzas simples. Para formar las cruzas dobles son necesarios los siguientes pasos:

- a. Formación de líneas autofecundadas homocigotas uniformes
- b. Cruzamientos entre estas líneas en combinaciones que produzcan híbridos simples uniformes y productivos
- c. Cruzamientos entre las cruzas simples en combinaciones que produzcan híbridos productivos de craza doble.

La craza doble es en realidad un híbrido entre dos líneas heterocigóticas de las cruzas simples, por eso no es tan uniforme como estas (Chávez, 1995).

2.4.3. Híbridos trilineales

Este tipo de híbridos se obtiene a partir de tres líneas autofecundadas, son el producto de un cruzamiento entre una craza simple y una línea autofecundada. Para su formación se polinizan las plantas pertenecientes a la craza simple con el polen del parental masculino, el cual debe ser una línea alta productora de polen, ya que en comparación a la craza simple es menos vigorosa (Chávez, 1995).

2.5. Heterosis

El cruzamiento entre poblaciones nos da como resultado un desarrollo de la herencia de los híbridos, en muchos de los casos el cruzamiento entre líneas, variedades dan como resultado híbridos de alto rendimiento. Este efecto se le ha denominado heterosis, y ha sido explotado con gran provecho en los programas de mejoramiento. Para poder explicar mejor el efecto de heterosis se han desarrollado dos hipótesis: Hipótesis de la dominancia e Hipótesis de la sobredominancia (Guzmán, 1996)

Hipótesis de la dominancia

Esta fue propuesta por Davenport (1908), Bruce (1910), Keeble y Pellew (1910), con base en el concepto de que las especies provenientes de polinización libre se constituyen con una gran número de individuos genéticamente diferentes, y muchos de ellos son portadores de genes deletéreos en condición heterocigótica. Si alguno de los genotipos llega a ser homocigótico para dichos genes, manifiestan características indeseables, como, los son susceptibilidad a enfermedades, pérdida de viabilidad y fertilidad, un menor capacidad de adaptación que es consecuencia de una pérdida de vigor (depresión endogámica), como consecuencia del cruzamiento entre individuos emparentados, que conduce en menor tiempo a la homocigosis.

Si los individuos homocigóticos se cruzan, su descendencia muestra una conducta heterocigótica para sus respectivos genes recesivos deletéreos,

lo que se interpreta en un mayor vigor híbrido o heterosis en comparación al promedio de sus progenitores e incluso respecto a su progenitor superior. La objeción más fuerte para esta hipótesis, es que se deberían encontrar líneas con un gran número de pares de genes homocigotes favorables que fueran mejores que los híbridos pero aún no se ha logrado. Una razón de que no ha ocurrido puede ser porque los genes pueden encontrarse ligados en un mismo cromosoma y, así, un mismo grupo de ligamiento puede llevar genes favorables como deletéreos (Guzmán, 1996).

Hipótesis de la sobredominancia

Shull y East (1908), propusieron la hipótesis de sobredominancia cada uno de manera independiente. Proponen que existe un estímulo fisiológico del desarrollo que aumente la diversidad de los gametos que se unen. Se explicaría que la condición heterocigótica Aa es superior a las condiciones homocigóticas AA y aa , incrementándose la heterosis en proporción a la heterocigosis. Por esta razón a esta hipótesis se le ha nombrado heterosis de genes simples, acción acumulativa de genes divergentes y estímulo de alelos divergentes.

En la plantas de la primera generación (F_1) que provienen de semilla es donde se presenta principalmente la heterosis (Jugenheimer, 1990). En la segunda generación (F_2) es mayor la variación a comparación a la primera generación (F_1) y la heterosis disminuye. (Genética cuantitativa). Lo opuesto a la heterosis es la depresión endogámica.

Con la finalidad de conseguir una mayor respuesta heterótica, Gómez y Valdivia (1999) consideran favorable combinar germoplasma proveniente de distintas áreas de adaptación para dar oportunidad de explotar al máximo la heterosis. Al momento de realizar las cruces y estas contener una gran diversidad genética se ha observado mayor respuesta heterótica (De la Cruz *et al.*, 2003). Se han postulado teorías para explicar el efecto de heterosis, la mayoría de las veces se ha pretendido explicar considerando aspectos fisiológicos y aspectos genéticos.

Los aspectos fisiológicos para explicar la heterosis, Shull en 1914 menciona y asigna el vigor híbrido a un estímulo fisiológico ocasionado por la unión de dos gametos haploides, genéticamente diferentes, que forman un heterocigote y un citoplasma desbalanceado. El término de “ventaja inicial”, indicado por Ashloy, dice que la heterosis era debido a que el embrión del híbrido era mayor a cualquier embrión del progenitor, y que dicha ventaja se preservaba hasta el final, pero varios experimentos mostraron que en ocasiones no se presentaba esta ventaja inicial del embrión, y aun así se manifiesta el fenómeno de la heterosis (Guzmán, 1996).

Los aspectos genéticos difieren en varias hipótesis que tratan de explicar el fenómeno de la heterosis y estas se pueden resumir en dos teorías:

1. Teoría de la interacción de alelos(sobredominancia, la acción de los genes en un mismo locus)

Esta teoría argumentada por Shull y East (1908) sostiene:

- a) Si dos líneas puras homocigotas o dos plantas autógamas (no emparentadas) se cruzan, se manifiesta la heterosis.
 - b) Si una planta alógama se autofecunda, su vigor disminuye.
2. Teoría de la interacción de genes dominantes no alelos (hipótesis de dominancia, hipótesis de genes dominantes favorables).

2.6. Diseños Genéticos

Para la estimación de valores genéticos y heteróticos se ha utilizado diseños factoriales, como el dialélico y el diseño II de Carolina del Norte (Sprague y Tatum, 1942; Comstock y Robindon, 1949, Griffing, 1956).

2.6.1. Diseño Carolina del Norte II

El diseño dialélico de Griffing es uno de los más utilizados. Pero a diferencia del Carolina del Norte II, el diseño dialélico usa como parentales a los mismo individuos (Hallauer *et.al.*, 1988, Melani y Carena, 2005).

Los efectos de la ACG y la ACE se puede estudiar con el diseño de Carolina del Norte II como también evaluar los efectos maternos, esta es una ventaja que tiene dicho diseño sobre el dialélico cuando varios parentales están involucrados (Minngam, 2005). Hallauer y Miranda, (1988) señalan que a través del diseño II de Carolina del Norte se podrían estimar además del rendimiento otras características secundarias de los dos parentales a través de su comportamiento híbrido; al no haber un control de los efectos maternos

podrían sobrestimar la varianza de ACG para rendimiento y otras variables, consecuentemente estaría sobrestimada la heredabilidad y habría un margen de error más grande al momento de la selección.

El diseño II de Carolina del Norte utiliza dos grupos de líneas; el primer grupo se utiliza como macho solamente, y el segundo únicamente como hembra. Cada macho se cruza con cada una de las hembras. Y la variación fenotípica resultante de estas cruzas según (Hinkelmann, 2011) se divide de acuerdo con

- I. Diferencia ente machos
- II. Diferencia entre hembras
- III. Interacción ente machos y hembras.

2.7. Fenotipo

Se denomina fenotipo al conjunto de caracteres que se expresan visiblemente en un individuo o población. Ejemplos de estos pueden ser los parámetros agronómicos cualitativos o cuantitativos. Lo que podemos observar, medir, cuantificar es el fenotipo (Tiessen, 2012).

2.8. Genotipo

El genotipo es la suma de los genes y combinación de los alelos que posee un individuo o variedad. Podemos decir también que es la información genética codificada en el DNA que está presente en el núcleo, los plástidos y la mitocondria (Tiessen, 2012).

2.9. Interacción Genotipo Ambiente

El concepto de ambiente se define como el conjunto de variables externas que tienen influencia sobre el desarrollo y las funciones de un organismo. En muchas de las ocasiones los genes o las proteínas se ven controladas por el ambiente. Cuando hablamos de ambiente incluimos todos los factores abióticos (parámetros químicos y físicos) y también factores bióticos de interacciones biológicas y ecológicas. Algunas variables no es posible controlarlas en campo, por lo que se dificulta su medición (Tiessen, 2012).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del sitio experimental

El campo experimental UAAAN-UL, se localiza geográficamente en los paralelos 25° 33' y 218.99° Latitud Norte, y en los meridianos 103° 22' 25.71" Longitud Oeste, con 1120 msnm.

3.2. Clima

Esta región se caracteriza por un clima seco muy semicálido (89%) y seco templado (11%) (INEGI, 2009).

3.3. Temperatura

La temperatura oscila entre los 14-22 °C (INEGI, 2009).

3.4. Precipitación

La precipitación se calcula entre los 100-400 mm anuales (INEGI, 2009).

3.5. Material Genético

Se utilizaron como machos doce líneas endogámicas de maíz, dos provenientes del CIMMYT y diez provenientes de la UAAAN-UL (Cuadro 3.1).

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

Línea	Genealogía	Origen
1	A-30-01	UAAAN-UL
2	A-57-02	UAAAN-UL
3	A-18-05	UAAAN-UL
4	A-39-07	UAAAN-UL
5	A-06-11	UAAAN-UL
6	A-56-14	UAAAN-UL
7	A-50-15	UAAAN-UL
23	AN77	UAAAN-UL
25	CML508	CIMMYT
26	CML509	CIMMYT
27	AN82	UAAAN-UL
28	AN78	UAAAN-UL

Cuadro 3.2. Cruzas posibles de 12 progenitores, bajo el diseño II de Carolina del Norte.

♂ / ♀	1	2	3	4	5	6	7
23	1x23	2x23	3x23	4x23	5x23	6x23	7x23
25	1x25	2x25	3x25	4x25	5x25	6x25	7x25
26	1x26	2x26	3x26	4x26	5x26	6x26	7x26
27	1x27	2x27	3x27	4x27	5x27	6x27	7x27
28	1x28	2x28	3x28	4x28	5x28	6x28	7x28

Cuadro 3.3. Genealogía de las 35 cruzas generadas de 12 progenitores bajo el diseño II de Carolina del Norte.

Cruza	Genealogía	Cruza	Genealogía	Cruza	Genealogía
1x23	A-30-01/AN77	1x25	A-30-01/CML508	1x26	A-30-01/CML509
2x23	A-57-02/AN77	2x25	A-57-02/CML508	2x26	A-57-02/CML509
3x23	A-18-05/AN77	3x25	A-18-05/CML508	3x26	A-18-05/CML509
4x23	A-39-07/AN77	4x25	A-39-07/CML508	4x26	A-39-07/CML509
5x23	A-06-11/AN77	5x25	A-06-11/CML508	5x26	A-06-11/CML509
6x23	A-56-14/AN77	6x25	A-56-14/CML508	6x26	A-56-14/CML509
7x23	A-50-15/AN77	7x25	A-50-15/CML508	7x26	A-50-15/CML509
Cruza	Genealogía	Cruza	Genealogía	Cruza	Genealogía
1x27	A-30-01/AN82	1x28	A-30-01/AN78		
2x27	A-57-02/AN82	2x28	A-57-02/AN78		
3x27	A-18-05/AN82	3x28	A-18-05/AN78		
4x27	A-39-07/AN82	4x28	A-39-07/AN78		
5x27	A-06-11/AN82	5x28	A-06-11/AN78		
6x27	A-56-14/AN82	6x28	A-56-14/AN78		
7x27	A-50-15/AN82	7x28	A-50-15/AN78		

3.6. Descripción de la parcela experimental

Se evaluaron las 35 cruzas dentro de un diseño experimental bloques al azar con 2 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 una parcela útil de 4.5 m² con 36 plantas por tratamiento por repetición y un densidad de 78, 431 plantas por hectárea.

3.7. Preparación del terreno

El terreno donde se estableció el experimento tubo una preparación que consistió en un barbecho profundo y rastreo con un tractor CASE modelo 95s turbo. El 6 de marzo de 2014 se realizó el rayado con una sembradora Gaspardo neumática de precisión modelo SP 520. Posteriormente se marcaron los bloques con cal para la siembra.

3.8. Siembra

La siembra se efectuó en el ciclo primavera-verano, en el campo experimental de la UAAAN UL el día 07 de marzo de 2014. Colocando dos semillas por cada punto de siembra en lotes de 3 m de largo. Los bordos fueron sembrados con la variedad Arrayán. A los 22 días posteriores a la siembra se realizó un aclareo cuando la planta presentaba aproximadamente unos 30 cm de altura dejando solo una planta por cada punto de siembra.

3.9. Manejo Agronómico

3.9.1 Fertilización

En la fertilización, sus aplicaciones fueron sulfato de amonio, ácido fosfórico y urea ácida. Se fertilizó utilizando la fórmula de 200-100-00 aplicando el 50% del nitrógeno al momento de la siembra. El 50 % de fosforo 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.

3.9.2. Riego

Se aplicó un total de 26 riegos para los tratamientos bajo riego normal con diferentes láminas y tiempos de riego con intervalos de 5 días entre uno y otro riego, sujetas a la humedad disponible en el suelo durante todo el ciclo de evaluación, el sistema de riego utilizado fue presurizado con goteo por cintilla.

3.9.3. Control de maleza

Para el control de maleza se llevó a cabo la aplicación del herbicida pre-emergente HARNES XTRA (acetaclor + atrazina), posterior a la siembra y antes de la emergencia de las plantas a una dosis de 300 ml en 20 L de agua.

Además se utilizó herbicida post-emergente HIERBAMINA (2-4-D), con una aplicación de 250 ml en 20 L de agua. De igual manera se realizó un control mecánico antes del primer cultivo y posteriormente se controló de manera manual.

3.9.4. Control de plagas

El problema principal de plagas que se presentó durante el desarrollo del cultivo fue el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*). Para lo cual para

el control de las larvas de gusano cogollero se aplicó Clorpirifos etil (líquido) a una dosis de 65 ml en 20 L de agua. También para controlar el gusano cogollero se aplicó Cipermetrina a una dosis de 50 ml en 20 L de agua y al final se controló con una 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 dosis de 60 ml en 20 L de agua El control de araña roja (*Tetranychus urticae*) se llevó a cabo mediante la aplicación de Ometoato con una dosis de 65 ml en 20 L de agua. También se aplicó Abamectina a razón de 50 ml en 20 L de agua Las aplicaciones se realizaron de manera manual con mochila de 20 litros.

3.9.5. Cosecha

Alrededor de los 140 y 150 días después de la siembra se realizó la cosecha de manera manual. Se cosecharon todas las mazorcas de cada planta de la parcela útil y extendiéndolas al inicio de cada surco para su evaluación. Cuando el grano alcanzó una humedad del 13%, analizada con un determinador electrónico Motomco Moisture Meter modelo No 919, serial No A-2937 cosechando todas las mazorcas de cada planta de la parcela útil.

3.10. Variables evaluadas

3.10.1. Días a floración masculina (FM)

Los días a floración masculina se registraron desde la siembra hasta obtener un 50 %de la emisión de polen por parte de las espigas.

3.10.2. Días a floración femenina (FF)

La toma de datos de floración femenina, se registraron los días que trascurrieron desde la siembra hasta la aparición de las primeras flores, con un registro del 50% de las plantas de la parcela presentaban estigmas de 2-3 cm de largo.

3.10.3. Altura de planta (AP)

En la altura de planta se seleccionó cinco plantas al azar de cada parcela, se midió desde la base de la planta hasta donde comienza la espiga. Esto se llevó a cabo con un estadal de tres metros de longitud. Los datos fueron registrados dos semanas posteriores a la floración en unidades de centímetros.

3.10.4. Altura de mazorca (AM)

Se tomaron cinco plantas de cada parcela seleccionadas al azar, midiéndolas desde la base de la planta hasta el nudo con la mazorca más alta. Este dato fue tomado dos semanas posteriores a la floración, realizándolos con la ayuda de un estadal y los resultados se expresaron en centímetros.

3.10.5. Mazorca por planta (MzPI)

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

3.10.6. Diámetro de la mazorca (DMz)

La obtención del diámetro se realiza con una medición desde la corona de un grano hasta la corona de otro grano, esto con la utilización de un vernier, y las unidades se registraron en milímetros.

3.10.7. Longitud de la mazorca (LMz)

El dato de la longitud de la mazorca, se mide desde la base del pedúnculo hasta su ápice y se toma la longitud en centímetros. Para esto se utilizó una regla de treinta centímetros.

3.10.8. Número de hileras por mazorca (HMz)

Para esta variable, se hizo un conteo de las hileras e zonas aproximadas al centro, debido a que en esa zona se encuentra la orientación embrionaria central de la mazorca.

3.10.9. Número de granos por hilera (GH)

Se contó el total de granos de dos hileras, después se determinaron el promedio de las dos hileras.

3.10.10. Rendimiento de grano (Rend).

El rendimiento se obtuvo con la producción de grano de cada parcela útil, se pesó y ajustó al 14% de humedad, registrada en kilogramos por ha⁻¹.

Para esta se realizó la fórmula 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.

HC= Humedad de campo u de cosecha.

3.11. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se usó el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 93 desarrollado por el SAS Institute SAS. El modelo estadístico fue el siguiente;

$$Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde: Y_{ij} = La observación del tratamiento i en la repetición j ; μ = media general, t_i y b_j = los efectos de tratamientos y repeticiones y ε_{ij} = error experimental para cada observación.

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.

3.12. Heterosis porcentual

Para calcular la heterosis porcentual con respecto al progenitor medio (H_{PM}) se utilizó la fórmula:

$$H_{PM} = (X_{ij} - PM) / PM;$$

Dónde: PM = Progenitor medio = $(P_i + P_j) / 2$; P_i, P_j = RMP (rendimiento promedio de las líneas i, j).

En virtud de que las líneas progenitoras no se evaluaron, en su lugar, se tomó el valor de la ACG de cada progenitor de la forma siguiente:

$$H_{PM} = (X_{ij} - PM) / PM = [X_{ij} - (ACG_i + ACG_j)/2] / [(ACG_i + ACG_j)/2]$$

(Escorcia-Gutierrez *et al*, 2010).

Se usó la fórmula propuesta por (Escorcia-Gutiérrez *et al.*, 2010) con una modificación, tomando las S_{ij} para calcular la H_{PM} .

La fórmula que se utilizó fue la siguiente:

$$H_{PM} = S_{ij} - [(g_i + g_j) / 2] / [(g_i + g_j) / 2]$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de Varianza

En el Cuadro 4.1 se mencionan la significancia de los cuadrados medios del análisis de varianza. Las repeticiones REP fueron diferentes para altura de planta AP y altura de mazorca AM con una significancia ($p \leq 0.05$). Para el factor hembras (H) se observaron diferencias ($p \leq 0.05$) para floración masculina FM, floración femenina FF, altura de planta AP, mazorca por planta MzPI, hileras por mazorca HMz. Para el caso de los machos también hubo diferencias ($p \leq 0.05$) para FM, FF, ASI, AP, AM, Rend, en cambio fueron altamente significativos ($p \leq 0.01$) HMz y longitud de mazorca LMz.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios y nivel de significancia para 10 características evaluadas 35 cruza formadas de siete líneas Hembras (H) y cinco Machos (M) de maíz con el Diseño-II de Carolina del Norte. Torreón, Coahuila, México. 2014.

FV	Hembras		Machos (M)	H x M	ERROR	C.V. (%)	Media
	Rep	(H)					
G.L	1	6	4	24	34		
FM	0.2	20.2*	34.9*	7.1*	1.2	1.3	86.1
FF	0.1	13.9*	31.0*	6.8*	1.5	1.4	88.9
AP	5684.4*	242.7*	474.0*	85.6	33.4	2.6	222.9
AM	3294.2*	176.9	572.2*	65.8	38.2	5	122.5
MzPI	0	0.02*	0.01	0.01	0.01	9.12	0.96
DMz	0.4	0.1	0.02	0.03	0.02	3.5	4.9
LMz	1.47	1.05	4.87**	1.9	1.28	6.57	17.24
HMz	3	2.4**	3.00**	0.8	0.8	6.1	14.7
GH	11.3	5.7	37.30	7.4	5.4	6.3	36.8
Rend	1170139.15	3167295.72	6761883.59*	1371441.1	1432169.2	15.9	7543.50

*, ** Valores significativos al 0.05 y 0.01 de probabilidad, FM: Floración masculina; FF: Floración femenina; AP: Altura de planta; AM: Altura de mazorca; DMz: Diámetro de mazorca; LMz: Longitud de mazorca; HMz: Hileras por mazorca; GH: Granos por hilera; Rend: Rendimiento de grano.

La interacción H x M, que representan a las cruzas, solo fue diferente para FM y FF, ($p \leq 0.05$); el resto de las variables no fueron significativas.

En el Cuadro 4.2 se presentaron los valores medios para el efecto macho (M) en 10 variables cuantificadas. Los machos 28 y 27 fueron estadísticamente más tardíos en FM y FF respecto al 26, 23 y 25. Como para la variable AP en el macho 27 se observó significancia. Los machos 27 y 23 fueron significativos sus valores para AM. El macho 28 obtuvo un valor significativo en GH como también para rendimiento Rend.

Cuadro 4.2. Valores medios de 10 variables cuantificadas en cinco líneas utilizadas como Machos (M) en un Diseño-II de Carolina del Norte.

M†	FM	M	FF	M	AP	M	AM	M	MzPI
27	87.9 a	28	90.5 a	27	232.1 a	27	129.8 A	28	0.98 a
28	87.6 a	27	90.4 a	23	223.8 b	23	128.2 ba	23	0.98 a
26	85.7 a	26	88.7 b	25	222.9 b	28	121.7 bc	27	97 a
23	84.9 cb	25	87.5 b	28	217.9 b	25	116.9 c	25	0.96 a
25	84.4 c	23	87.4 b	26	217.8 b	26	115.8 c	26	0.92 a
M	DMz	M	LMz	M	HMz	M	GH	M	Rend
27	4.93 a	26	17.73 a	28	15.14 a	28	39.15 a	28	8683.1 a
26	4.92 a	28	17.57 a	27	15.05 a	26	37.27 ba	27	7549.3 ba
25	4.92 a	25	17.37 ba	26	14.65 ba	25	36.46 bc	25	7516.9 ba
23	4.9 a	27	17.29 ba	23	14.51 ba	27	36.35 bc	26	7042.6 b
28	4.82 a	23	16.23 b	25	14 b	23	34.65 c	23	6925.7 b

†Machos con la misma letra son estadísticamente iguales al 5% de probabilidad.

En el Cuadro 4.3 se presentan los valores promedio de las líneas hembras (H) en diez variables cuantificadas, donde se observó que las hembra 1 fue estadísticamente ($p < 0.05$) tres días más tardío respecto a la hembras 5,2,6,4,7,3. La hembra 6 fue sobresaliente para AM. En la característica MzPI solo en la hembra 2 se observó valor significativo. Respecto a las

características de mazorca las líneas presentaron buen diámetro DMz como longitud LMz y diferente para número de hileras HMz y granos por hilera GH. En rendimiento de grano Rend la hembra 2 presento el mayor rendimiento, las líneas 5 y 6 estadísticamente ($p < 0.05$) fueron iguales.

Cuadro 4.3. Valores medios de diez variables cuantificadas en siete líneas utilizadas como hembras (H) en un Diseño-II de Carolina del Norte.

H	FM	H	FF	H	AP	H	AM	H	MzPI
2	87.4 a	1	92.2 a	3	227.4 a	6	127.46 a	2	1.04 a
1	87.3 a	5	89.9 b	7	226.6 ba	2	125.54 a	4	0.99 ba
5	87.1 a	2	89.8 b	5	225.4 ba	7	124.08 a	5	0.98 ba
6	87.1 a	6	89.3 b	6	225.4 ba	4	122.32 ba	7	0.94 ba
4	85.5 b	4	88.5 c	2	222.7 ba	3	122.14 ba	1	0.94 ba
7	84.6 b	7	87.5 c	4	219.1 b	5	121.8 ba	6	0.93 ba
3	84 b	3	87.3 c	1	213.7 c	1	213.7 c	3	0.91 b
H	DMz	H	LMz	H	HMz	H	GH	H	Rend
3	5.08 a	6	17.6 a	1	15.3 a	3	37.6 a	2	8317.9 a
6	4.98 ba	1	17.5 a	6	15.1 ba	6	37.4 a	5	7976.8 a
7	4.91 ba	4	17.4 a	7	14.9 ba	2	37.1 a	6	7917.7 a
2	4.91 ba	5	17.3 a	2	14.6 ba	5	37.0 a	1	7531.1 a
1	4.84 b	3	17.1 a	4	14.4 ba	4	36.4 a	7	7294.7 a
4	4.8 b	2	16.8 a	5	14.3 ba	1	36.1 a	4	7021.8 a
5	4.7 b	7	16.7 a	3	13.9 b	7	35.5 a	3	6744.4 a

Hembras con la misma letra son estadísticamente iguales al 5% de probabilidad.

En el Cuadro 4.4 Se presentaron los valores medios de las cruzas, donde en el análisis mostró un rendimiento de 10869.3 kg originada por la cruce 2x28, un factor principal que promovió un buen rendimiento fue el tiempo en que se llevó a cabo la floración, donde se muestra que solo tuvieron 3 días de intervalo entre FM y FF dando como origen una buena polinización, también se estimó, que por el diámetro de mazorca DMz y de granos por hilera GH se produjo un alto rendimiento.

Cuadro 4.4. Valores medios de 20 cruzas simples en diez variables generadas a partir del Diseño II de Carolina del Norte.

Cruza	FM	FF	AP	AM	MzPI	DMz	LMz	HMz	GH	Rend
2 X 28	90	93	244.6	140.2	1.03	4.80	16.7	14.8	40.2	10869.3
5 X 28	88	91	230.8	130.2	1.03	4.86	16.3	15.6	35.7	10596.4
5 X 27	88	90	241.8	136.4	0.97	4.88	17.88	14.8	37.7	10050.6
6 X 25	85	88	225.4	123	0.94	4.94	18.6	14	36.9	9641.3
7 X 28	87	89	227.6	128.4	1	4.86	16.8	16	37.9	9459.4
1 X 28	89	91	216	119	0.87	4.72	16.8	14.8	37.6	9323
6 X 28	89	91	208.8	122.8	0.97	4.74	18.8	15.2	40.9	9277.5
6 X 27	88	89	245.4	143.2	0.97	5.18	17.4	15.6	36.6	9277.5
2 X 26	89	91	216.8	124.6	1.04	4.84	18.52	14	41.2	9095.6
5 X 26	89	91	242.2	134.8	0.93	5.2	20.7	15.2	40.8	8913.7
5 X 25	85	89	239.6	115.6	0.93	5.06	16.9	14	37.9	8822.7
4 X 28	87	91	201.8	105.8	1.04	4.68	18	14.8	39.1	8731.8
6 X 26	89	91	228.8	125.4	0.79	5.26	18.3	15.6	38.6	8731.8
4 X 25	84	87	208.6	113	1.07	4.82	18.1	14	37.8	8640.8
3 X 23	83	87	234	138	1.04	5.52	16	14	39.3	8640.8
1 X 27	89	91	213.8	115.2	1	4.96	17.2	16	33.7	8595.3
1 X 23	87	90	230.2	135.6	0.94	4.86	17.1	16	34.1	8595.3
3 X 28	87	91	220.4	122.2	0.94	5.08	16.7	16.4	38.6	8504.4
7 X 25	81	85	243.8	121.8	0.85	5.16	17.4	14.8	38.7	8231.5
2 X 27	87	90	231.2	128.8	1.08	4.58	16.6	13.2	34.1	8095.1
Media	87.05	89.8	227.58	126.2	0.9715	4.95	17.54	14.94	37.87	9104.69

En el Cuadro 4.5 se presentan los valores de ACG de las líneas que participaron como hembras con su respectiva significancia para las variables de estudio. En la hembra número 1 se observaron seis valores significativos, tres positivos para FM, FF y HMz, y tres negativos para AP, AM, DMz respectivamente. En la hembra 2 se presentaron tres valores positivos para FM, FF, MzPI. Para la hembra 3 fue donde se obtuvieron el mayor número de valores significantes, tres positivos en AP, DMz y cuatro negativos para FM, FF, MzPI, HMz. La hembra 4 se observó un solo valor

significativo negativo para DMz. En la hembra 5 se obtuvieron cuatro valores significativos, tres positivos para las variables FM, FF y un negativo para DMz. También para la hembra 6 se presentaron cuatro valores significativos, tres positivos para FM, AM y respectivamente para DMz, se observó el valor significativo negativo. En la hembra 7 se tuvo dos valores significativos negativos para FM y FF. El resto de las variables no tuvieron un valor significativo. De acuerdo a lo observado las hembras 1, 2, 3, 5, 6 son las que pueden tener mayor distribución a su descendencia portando mayor precocidad, FM, FF, AP, AM, MzPI, DMz, HMz.

Así mismo se presentaron los valores de ACG con su respectiva significancia de las líneas que se utilizaron como machos para las variables evaluadas. En el macho 23 se encuentran seis valores significativos, cinco positivos negativos para FM, FF, LMz, GH, y uno significativo positivos en AM. En el macho 25 se observaron cinco valores significativos, cuatro significativos negativos en FM, FF, AM, HMz. Para el macho 26 se observaron dos valores significativos negativos para AP, AM. Para el macho 27 se presentaron cuatro valores significativos positivos en las variables FM, FM, AP y AM. En el macho 28 se observó siete valores significativos, siete significativos positivos en FM, FF, GH, Rend y dos negativos en AP y DMz. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede esperar que el macho 27 genere cruza que contribuyan a su descendencia con mayor día a floración FM, FF con una mayor AP y AM. El macho 28 contribuiría a mayor día a floración, como también generaría un incremento en características cuantitativas como GH, además de Rend.

Cuadro 4.5. Efecto de aptitud combinatoria general (ACG) de siete hembras y cinco machos en 10 características evaluadas en el ciclo primavera 2014.

HEMBRAS	FM	FF	AP	AM	MzPI	DMz	LMz	HMz	GH	Rend
1	1.2*	1.3*	-9.2*	-8.3*	0	-0.1*	0.3	0.7*	-0.6	-12.4
2	1.3*	0.9*	-0.2	3	0.1*	0	-0.4	0	0.4	774.4
3	-2.1*	-1.6*	4.5*	-0.4	-0.1*	0.2*	-0.1	-0.7*	0.9	-799.1
4	-0.6	-0.4	-3.8	-0.2	0	-0.1*	0.2	-0.3	-0.3	-521.7
5	1.0*	1.0*	2.5	-0.7	0	-0.1*	0.1	-0.4	0.3	433.3
6	1.0*	0.4	2.5	4.9*	0	0.1*	0.4	0.4	0.7	374.2
7	-1.5*	-1.4*	3.7	1.6	0	0	-0.5	0.2	-1.2	-248.8
DMS	0.8	0.9	4.4	4.7	0.06	0.1	0.8	0.6	1.7	926.04
MACHOS	FM	FF	AP	AM	MzPI	DMz	LMz	HMz	GH	Rend
23	-1.2*	-1.5*	0.9	5.7*	0	0	-1.0*	-0.2	-2.1*	-617.8
25	-1.7*	-1.4*	0	-5.6*	0	0	0.1	-0.7*	-0.3	-26.6
26	-0.4	-0.2	-5.1*	-6.7*	0	0	0.5	0	0.5	-500.9
27	1.8*	1.5*	9.2*	7.3*	0	0	0	0.4	-0.4	5.8
28	1.5*	1.6*	-5.0*	-0.7	0	-0.1*	0.3	0.5	2.4*	1139.6*
DMS	0.8	0.8	4.2	4.5	0.06	0.1	0.8	0.6	1.7	887.87

*, Valores diferentes de cero ($P \leq 0.05$); FM: Floración masculina; FF: Floración femenina; AP: Altura de planta; AM: Altura de mazorca; DMz: Diámetro de mazorca; LMz: Longitud de mazorca; HMz: Hileras por mazorca; GH: Granos por hilera; Rend: Rendimiento de grano.

En el Cuadro 4.6 se presentan los valores de Aptitud Combinatoria Especifica de 35 cruza derivadas de cinco líneas que se utilizaron como machos y siete líneas como hembras en un esquema de apareamiento del diseño-II de Carolina del Norte.

Para la variable de FM, se observaron seis valores positivos significativos los cuales fueron de las cruza 1x25, 2x26, 2x28, 3x27, 4x23, 6x26, como también se observaron seis valores significativos negativos que corresponden a las cruza 2x23, 2x27, 3x25, 3x26, 6x28. En la característica FF se obtuvieron cuatro valores positivos pertenecientes a las cruza 2x26, 3x27, 4x23, 6x26, al igual que se observaron cuatro valores negativos de las cruza 2x27, 3x25, 3x26, 6x28.

La característica AP mostro tres valores positivos significativos de las cruzas 1x23, 2x28, 5x26, y dos valores significativos negativos 2x23, 5x23. En comparación de AM que solo se presentó un valor significativo negativo de la cruz 2x23.

En MzPI se pudo observar seis valores positivos significativos pertenecientes a las cruzas 2x27, 3x23, 3x25, 4x26, 6x28, 7x23 además también se observó siete valores significativos negativos de las cruzas 2x26, 3x27, 3x28, 4x23, 5x25, 6x27, 7x25.

Para las características de la mazorca, la variable DMz obtuvo dos valores positivos de las cruzas 6x26, 7x27, y dos valores negativos pertenecientes de las cruzas 2x23, 5x23. La característica de LMz solo se presentó dos valores significativos, de la cruz 2x23 positivo y de la cruz 4x23 el negativo. El GH solo se observó un valor significativo negativo originario de la cruz 2x27. El resto de las variables no presentaron valores significativos.

En Rend se presentaron valores altos de las cruzas 1x27, 2x26, 2x28, 3x23, 3x25, 5x27, 5x28, 6x26.

Cuadro 4.6. Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE).

CRUZA	FM	FF	AP	AM	MzPI	DMz	LMz	HMz	GH	Rend
1 X 23	-0.1	0.3	8.4*	5.0	0.0	-0.1	1.4	0.0	2.0	749.7
2 X 23	-1.7*	-1.3	-11.9*	-9.6*	0.0	0.1	1.6*	0.9	2.6	-378.1
3 X 23	0.2	0.7	-0.8	0.9	0.1*	0.1	-1.3	0.0	1.3	1286.3
4 X 23	2.2*	2.0*	6.2	5.2	-0.1*	0.0	-1.6*	0.2	-3.0	-173.5
5 X 23	-0.4	-1.4	-11.2*	-6.5	0.0	-0.1	-0.4	-0.4	-1.1	-1128.5
6 X 23	-0.9	-0.3	8.5*	4.9	0.0	0.0	-0.7	-0.4	-0.9	-455.4
7 X 23	0.6	0.0	0.7	0.0	0.1*	-0.1	1.0	-0.4	-0.9	99.3
1 X 25	1.9*	1.2	7.6	8.4	0.0	0.1	0.2	0.1	0.6	-728.3
2 X 25	0.3	-0.4	-4.1	1.9	0.0	0.0	-0.9	-0.6	-1.6	-969.3
3 X 25	-2.8*	-2.4*	-3.9	-0.3	0.1*	-0.1	0.4	-0.5	-2.3	1331.8
4 X 25	0.7	-0.1	0.1	3.8	0.0	0.0	0.9	0.3	2.2	349.5
5 X 25	0.6	1.5	3.2	-4.8	-0.1*	0.1	0.0	0.4	0.8	-537.3
6 X 25	0.6	1.1	-5.6	-3.3	0.0	-0.1	0.0	0.0	-0.4	363.2
7 X 25	-1.4	-0.6	2.6	-5.6	-0.1*	0.1	-0.6	0.4	0.7	190.3
1 X 26	-1.4	-0.5	-8.2	-7.3	0.0	-0.2*	-0.5	0.1	-1.5	-1186.2
2 X 26	2.0*	1.9*	2.5	3.8	-0.1*	0.0	0.5	0.0	2.1	1005.8
3 X 26	-3.1*	-4.1*	-0.6	-8.0	0.0	0.0	-0.7	-0.7	-1.0	-467.8
4 X 26	-0.6	-1.3	-5.0	-0.4	0.1*	0.0	-0.4	-0.2	-0.7	-244.9
5 X 26	1.3	1.3	9.3*	8.2	0.0	0.1	1.3	0.3	1.5	482.8
6 X 26	2.3*	1.9*	-1.6	-4.1	0.0	0.2*	-0.2	0.3	-0.3	564.6
7 X 26	-0.2	0.7	3.7	7.9	0.0	-0.1	0.0	0.3	0.0	-154.0
1 X 27	0.4	0.3	-1.0	-3.3	0.0	0.1	-0.1	0.9	-0.7	1058.4
2 X 27	-2.2*	-1.8*	2.0	-0.8	0.2*	-0.2*	-1.3	-1.0	-4.2*	-478.7
3 X 27	4.2*	4.2*	4.8	5.9	-0.1*	-0.1	1.2	0.9	0.9	-1156.4
4 X 27	-2.3	-1.0	-1.3	-5.7	0.0	0.1	0.5	0.4	0.7	203.4
5 X 27	-0.4	-0.9	-0.6	3.4	0.0	0.1	-0.5	0.1	0.8	567.3
6 X 27	-0.4	-0.8	-1.4	-0.1	-0.1*	-0.1	-0.3	-0.5	0.0	57.9
7 X 27	0.6	0.0	-2.5	0.5	0.0	0.2*	0.5	-0.7	2.3	-251.4
1 X 28	-0.8	-1.3	-6.8	-2.9	0.0	0.1	-0.8	-1.0	-0.5	106.6
2 X 28	1.6*	1.6	11.5*	4.7	0.0	0.1	0.1	0.7	1.2	820.6
3 X 28	1.5	1.6	0.5	1.5	-0.1*	0.1	0.3	0.4	1.0	-994.0
4 X 28	0.0	0.4	-0.1	-2.9	0.0	-0.1	0.7	-0.7	0.8	-134.5
5 X 28	-1.1	-0.5	-0.8	-0.2	0.0	-0.1	-0.5	-0.4	-2.0	615.9
6 X 28	-1.6*	-1.9*	0.1	2.7	0.1*	0.0	1.1	0.6	1.5	-530.2
7 X 28	0.4	-0.1	-4.4	-2.9	0.0	-0.1	-0.9	0.4	-2.2	115.6
DMS	1.6	1.7	8.4	9.0	0.1	0.2	1.6	1.3	3.3	1746.59

*, Valores diferentes de cero ($P \leq 0.05$), FM: Floración masculina; FF: Floración femenina; AP: Altura de planta; AM: Altura de mazorca; DMz: Diámetro de mazorca; LMz: Longitud de mazorca; HMz: Hileras por mazorca; GH: Granos por hilera; Rend: Rendimiento de grano.

En el Cuadro 4.7 se presenta los valores de Heterosis porcentual (HPM) de las 35 cruzas derivadas de cinco líneas que se utilizaron como machos y siete líneas como hembras en un esquema de apareamiento del diseño-II de Carolina del Norte. El punto de comparación en este caso fue considerado como 0 (escalado desde el valor de 100)

La cruzas que presentaron valores positivos fueron las cruzas, 5x23, 6x23, 1x25, 6x25, 1x26, 2x26, 3x27, 5x27, 7x27. Siendo la crusa 1x25 la que mostro un mayor porcentaje a comparación de las otras.

Cuadro 4.7 Efecto de heterosis porcentual es las 35 cruzas evaluadas en el ciclo primavera-verano 2014.

CRUZA	H %	CRUZA	H%
1 X 23	96.6207684	5 X 26	84.7186344
2 X 23	94.1709899	6 X 26	90.0879832
3 X 23	97.1843496	7 X 26	99.4108197
4 X 23	99.3045127	1 X 27	-221.436876
5 X 23	111.232632	2 X 27	97.7727488
6 X 23	102.73921	3 X 27	101.915387
7 X 23	98.7708232	4 X 27	98.2114726
1 X 25	136.342819	5 X 27	101.583743
2 X 25	96.4074491	6 X 27	99.3047574
3 X 25	95.7741472	7 X 27	101.06906
4 X 25	97.7251535	1 X 28	99.1890588
5 X 25	96.3577333	2 X 28	99.8574248
6 X 25	101.089524	3 X 28	93.1611482
7 X 25	97.6180185	4 X 28	98.56466
1 X 26	103.621988	5 X 28	99.7831462
2 X 26	106.354845	6 X 28	98.2995124
3 X 26	99.7196844	7 X 28	99.2594382
4 X 26	99.4789665		

V. Conclusiones

- Los efectos de Aptitud Combinatoria General y Aptitud Combinatoria Especifica difieren entre padres y entre cruzas respectivamente para las variables cuantificables.
- Los progenitores con mayor Aptitud Combinatoria General fueron las líneas 2 y 28 por sus valores positivos.
- En macho-28 fue donde se observó el valor significativo más alto para rendimiento (Rend) y tres variables más floración masculina FM, floración femenina FF y granos por hilera GH.
- En las hembras no se presentaron valores significativos de Aptitud Combinatoria General para rendimiento Rend.
- Las cruzas de mayor Aptitud Combinatoria Especifica fueron las 2 X 26.
- La craza 2 X 28 fue la de mayor rendimiento de grano (10, 869 kg/ha) seguido de las cruzas 5 X 28 y 5 X 27.

- 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.

- La cruce que presentó mayor heterosis fue la de 1X25, seguida de las cruces 5X23, 2X26, 1X26, 6X23, 3X27, 5X27, 6X25, 7X27 de las 35 totales.

Sugerencia: Para corroborar los resultados obtenidos en este trabajo, se sugiere realizar una segunda evaluación, sembrando los híbridos junto con sus parentales.

VI. BIBLIOGRAFIA

Allard, R. W. 1960. Selection under self-fertilization. Principles of Plant Breeding. John Wiley & Sons, Inc, New York. London. p.p. 485.

Banzger, M., G. O. Edmeades., D. L. Beck and M. R. Bellon. 2012. Mejoramiento para aumentar la sequía y la deficiencia de nitrógeno en el maíz: de la teoría a la práctica. CIMMYT. pp. 1.

Betancourt V., A., J. Molina G. y A. A. H.H. 1974. Comparación del potencial genético entre variedades de maíz no seleccionadas y mejoradas por selección masal como fuentes de líneas de alta aptitud combinatoria general. Agrociencia. pp. 3-19. (faltan los apellidos reales)

Chávez A., J. L. 1995. Mejoramiento de plantas 2: métodos específicos de plantas alógamas. (No. QH441. C42). México. Trillas. pp. 89 La cita de abajo es del mismo autor pero te falta la A

Chávez A, J. L. 1993. Mejoramiento de plantas 1. MÉTODOS ESPECÍFICOS DE PLANTAS. pp 25-26

Comstock, R. E., H. F. Robinson and J. Gowen. 1952. Estimation of average dominance of genes. Heterosis. pp. 494–516.

Crow, J. F. 1999. Dominance and overdominance. In: J G Coors, S Pandey, (eds). Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops. American Society of

- Agronomy, Inc. Crop Science Society of America, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. pp.49-54.
- De la Cruz, E., E., Gutiérrez, A., Palomo, S., Rodríguez .2003. Aptitud combinatoria y heterosis de líneas de maíz en la Comarca Lagunera. Revista Fitotecnia Mexicana. 26(4). pp. 279-284.
- Escorcia-Gutiérrez, N., J. D. Molina-Galán., F. Castillo-González., J.A. Mejía-Contreras. 2010. Rendimiento, heterosis y depresión endogámica de cruas simples de maíz. Revista fitotecnia Mexicana. 33(3). pp. 271-279.
- Gowen, J. W. 1952. Heterosis. Iowa State College Press. Ames, Iowa. pp 552
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Australian Journal of Biological Sciences. 9(4). pp.463-493.
- Guillen-De la Cruz, P., E., De la Cruz-Lázaro, G., Castañón-Nájera, R., Osorio-Osorio, N.P., Brito-Manzano, A., Lozano-del Río, U., López-Noverola. 2009. Aptitud combinatoria general y específica de germoplasma tropical de maíz. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 10(1). pp.101-107.
- Guzmán, M., E., E. 1996. Genética Agropecuaria. Trillas S.A de C.V. Primera edición. Pp 117-125.
- Hallauer, A. R., and J.B., Miranda. 1958. Fo. 1988. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State Univ Press, Ames, IA. Jenkins, JN, WL Parrott, JC McCarty Jr & RL Shepherd, 1988a. Registration of three noncommercial germplasm lines of upland cotton tolerant to tobacco budworm. Crop Sci, 28. pp.869.

- Hill, W. G., and T.F., Mackay. 2004. DS Falconer and Introduction to quantitative genetics. *Genetics*.167 (4). pp 254-256.
- Hinkelman. K., O., Kempthorne . 2011. Design and analysis of experiments. Wiley 's series. Volume 2. Advanced Experimental Designs.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía.2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Torreón, Coahuila de Zaragoza. Clave geoestadística. [En Línea].(Fecha de consulta 27/01/2016).[http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos geograficos/05/05035.pdf](http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos_geograficos/05/05035.pdf).
- Jugenheimer, R. W. 1981. Maíz variedades mejoradas: métodos de cultivo y producción de semillas. pp. 841.
- Márquez, S., F.1988. Genotecnia vegetal: tomo II. México: AGT. pp.563
- Melani, M. D., and M.J., Carena .2005. Alternative maize heterotic patterns for the Northern Corn Belt. *Crop Science*. 45(6). pp. 2186-2194.
- Mingramm Yarza, G. 2012. Efectos de aptitud combinatoria y de interacción genotipo x ambiente en maíz para provitamina A y rendimiento. pp. 2
- Muñoz Orozco, A., K. R., Stevenson, J. Ortiz Cereceres, G. W., Thurtell, and A., Carballo Carballo. 1983. Transpiración, fotosíntesis, eficiencia en uso de agua y potencial hídrico en maíces resistentes a sequía ya heladas. *Agrociencia*. pp. 115
- Navarro, G. E., F. E., Borrego. 1993. Efectos génicos y heterosis en poblaciones parentales y poblaciones derivadas de maíz (*Zea mays* L.). *Agronomía Mesoamericana*. 4. pp. 7-10.

- Paliwal, R. L., G. Granados, H.R., Lafitte, A. D., Violic, J.P., Marathée. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción (No. 28). Food and Agriculture Org. pp. 376
- Preciado, O. R. E. I., Terrón, M. Gómez y G., El Robledo. 2005. Componentes genéticos en poblaciones heteróticamente contrastantes de maíz de origen tropical y subtropical. *Agronomía mesoamericana*. 16(2). pp.145-151.
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2015. Producción Anual. [En Línea]. (Fecha de consulta 27/01/2016). <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>
- Sprague, G. F., and L.A., Tatum. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *J. am. soc. agron.* 34(10). pp. 923-932.
- Tiessen, F., A. 2012. Fundamentos del Mejoramiento genético vegetal. Conceptos básicos de genética, biología molecular, bioquímica y fisiología vegetal. México. PRIMERA EDICIÓN EAE 24 de Julio del 2012. Editorial EAE ISBN: 978-3-8484-6841-6. pp. 17
- Unites States Department of Agriculture (USDA). 2014. Producción Mundial Maíz. [En Línea]. (Fecha de consulta 10/03/2016). <https://www.produccionmundialmaiz.com/>
- Zhang, J., U., Schurr, and W.J., Davies. 1987. Control of stomatal behaviour by abscisic acid which apparently originates in the roots. *Journal of experimental Botany*. 38(7). pp. 1174-1181.