

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Aptitud Combinatoria en Líneas Contrastantes de Maíz

Por:

OMAR HERNÁNDEZ MENDOZA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Torreón, Coahuila, México
Septiembre de 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Aptitud Combinatoria en Líneas Contrastantes de Maíz

Por:

OMAR HERNÁNDEZ MENDOZA

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial
para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobada por:



Dr. Armando Espinoza Banda
Presidente



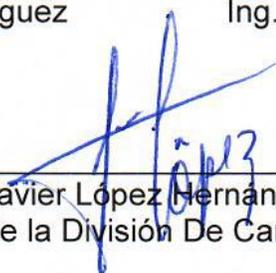
Dra. Oralia Antuna Grijalva
Vocal



M.C. José Luis Coyac Rodríguez
Vocal



Ing. Jonathán Ortega Sánchez
Vocal Suplente



M.E. Javier López Hernández
Coordinador Interino de la División De Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México
Septiembre de 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Aptitud Combinatoria en Líneas Contrastantes de Maíz

Por:

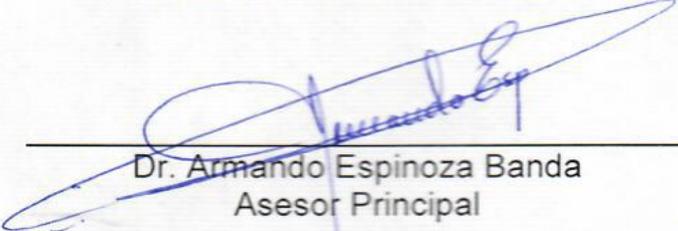
OMAR HERNÁNDEZ MENDOZA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

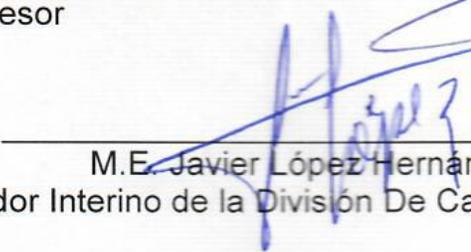
INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Armando Espinoza Banda
Asesor Principal


Dra. Oralia Antuna Grijalva
Coasesor


M.C. José Luis Coyac Rodríguez
Coasesor


M.E. Javier López Hernández
Coordinador Interino de la División De Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México
Septiembre de 2018

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS**, quien me dio la fe, la fortaleza, la salud y la esperanza para terminar este trabajo de investigación.

A la **UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO U.L** por aceptarme y haberme dado la oportunidad de formarme en sus instalaciones y poder prepararme profesionalmente para enfrentar cualquier obstáculo que se me presente en un futuro.

Al **DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA** por brindarme la oportunidad y confianza para poder realizar este proyecto donde me transmitió conocimiento y grandes experiencias.

A la **DRA. ORALIA ALTUNA GRIJALVA** por la confianza, tiempo y apoyo brindado a lo largo de la carrera.

Al **M.C. JOSÉ LUIS COYAC RODRÍGUEZ** por formar parte de mi trabajo de tesis y por su atención y tiempo para hacer observaciones que me ayudaron a mejorarlo.

A mis **COMPAÑEROS** que me apoyaron durante el trabajo de campo de mi proyecto de tesis

DEDICATORIA

A mis PADRES PAULINO HERNÁNDEZ ÁNGELES Y HERMELINDA MENDOZA HERNÁNDEZ por haberme brindado la confianza, apoyo y haberme forjado como persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que incluyen este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

A mis ABUELOS JULIAN HERNANDEZ CAPULA Y MACARIA ANGELES PEREZ más que mis abuelos, fueron las personas después de mis padres que más se preocupaban por mí. Sus canas son sinónimo de sabiduría. Me enseñaron muchas cosas vitales para la vida y me encaminaron por el buen sendero.

A mis TIOS (A) que me brindaron su confianza y motivación para poder culminar esta carrera.

A mi ESPOSA BEATRIZ HUIZACHE BOMAYE por brindarme su apoyo, confianza y motivación que cada día me da para poder salir adelante juntos.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de cuantificar los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) en líneas y sus cruzas. El trabajo se realizó en el campo agrícola experimental de la UAAAN-UL, para ello se utilizó nueve líneas de la de la UAAAN.UL y 2 líneas procedentes de CIMMYT. En el ciclo primavera-verano de 2016 se realizaron los cruzamientos utilizando el diseño genético de Carolina del norte II. La evaluación de las cruzas se realizó el 1 de abril del 2017. El Diseño experimental utilizado fue un alfa látice distribuido en bloques al azar con tres repeticiones. La parcela útil fue de 4.5 m². Se midieron las variables agronómicas de: floración masculina (FM), floración femenina (FF), altura de planta (AP) y mazorca (AM), diámetro de mazorca (DM), longitud de mazorca (LM), número de hileras (NH), granos por hilera (GH) y rendimiento de grano (REND). El análisis genético mostró diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en líneas hembra y macho, así como en la interacción. Las diferencias quedaron de manifiesto en los diversos valores de **ACG** en las líneas (hembras y machos) y, su impacto en los valores de **ACE** de las cruzas. La craza 27x3, exhibió el mayor rendimiento de grano con 15034 kg ha⁻¹, igual ($p \leq 0.05$) a doce cruzas. La craza 28x1 generó el mayor valor de ACE para rendimiento de grano.

Palabras clave: Diseño genético, ACG, ACE, CRUZAS.

INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIA	II
RESUMEN	III
INDICE DE CUADROS	VII
INDICE DE FIGURAS.....	VIII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Hipótesis.....	2
II. Revisión de literatura	3
2.1. Hibridación	3
2.2. Aptitud combinatoria	5
2.3. Aptitud combinatoria general	6
2.4. Aptitud combinatoria específica.....	7
2.5. Diseños genéticos.....	8
2.6. Análisis Dialélico	8
2.7. Diseños de Carolina del Norte.....	8
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
3.1 Localización geográfica del área de estudio	11
3.2 Fases del proyecto.....	11
3.2.1 Realización de cruzamientos.....	11
3.2.2 Evaluación de las cruzas	12
3.3 Siembra.....	12
3.4 Manejo agronómico	13
3.4.1 Fertilización	13
3.4.2 Riegos.....	13
3.4.3 Control de maleza	13
3.4.4 Control de plagas	13
3.5. Variables evaluadas	15
3.5.1. Floración masculina (FM).....	15
3.5.2. Floración femenina (FF).....	16
3.5.3. Altura de la planta (AP).....	16

3.5.4. Altura de la mazorca (AM)	16
3.5.5. Diámetro de la mazorca (DMZ).....	16
3.5.6. Longitud de la mazorca (LM)	16
3.5.6. Número de hileras de la mazorca (HM).....	16
3.5.7. Granos por hilera de la mazorca (GH).....	16
3.5.8. Rendimiento de grano	17
3.5.9. Peso seco.....	17
3.6. Análisis estadístico.	17
3.6.1. Análisis del Diseño II de Carolina del Norte	17
3.6.2. Estimaciones de Aptitud Combinatoria.....	19
IV.RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	20
4.1 Análisis de varianza	20
4.2. Valores medios.....	21
4.3 Aptitud combinatoria general y específica.....	23
4.3.1. Aptitud combinatoria general para floración masculina	23
4.3.2. Aptitud combinatoria específica para floración masculina	24
4.3.3. Aptitud combinatoria general para floración femenina	25
4.3.4. Aptitud combinatoria específica para floración femenina.....	27
4.3.5. Aptitud combinatoria general para altura de planta.....	27
4.3.6. Aptitud combinatoria específica para altura planta	29
4.3.7. Aptitud combinatoria general para altura de mazorca	30
4.3.8. Aptitud combinatoria específica para altura de mazorca	32
4.3.9. Aptitud combinatoria general para diámetro de mazorca	32
4.3.10. Aptitud combinatoria específica para diámetro de mazorca.....	33
4.3.11. Aptitud combinatoria general para número de hilera	34
4.3.12. Aptitud combinatoria específica para el numero de hilera	36
4.3.13 Aptitud combinatoria general para longitud de mazorca.....	37
4.3.14. Aptitud combinatoria específica para longitud de mazorca	38
4.3.15 Aptitud combinatoria general para granos por hilera	39
4.3.16. Aptitud combinatoria específica para granos por hilera	41
4.3.17 Aptitud combinatoria general para rendimiento.....	41
4.3.18. Aptitud combinatoria específica para rendimiento.	43

IV. CONCLUSIONES	44
V. BIBLIOGRAFÍA.....	45

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Genealogía de material genético utilizado como progenitores, 2016	12
Cuadro 2. Esquema de las cruzas entre las líneas hembra y macho de maíz con el diseño II de Carolina del Norte. UAAAN Unidad Laguna, 2016	12
Cuadro 3. Productos utilizados para el control de plagas. Las aplicaciones se realizaron de manera manual con mochila de 20 L	14
Cuadro 4. Análisis de varianza bajo el Diseño II de Carolina del Norte. Todos los efectos son fijos	18
Cuadro 5. Significancia de nueve variables medidas en 30 cruzas simples originadas de cinco líneas machos y 6 hembras, bajo el diseño-II de Carolina del Norte, 2017	20
Cuadro 6. Valores medios de las variables cuantificadas en las líneas macho y hembra.	22
Cuadro 7. Valores medios de las variables cuantificadas en las cruzas.	22

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Aptitud combinatoria general de cinco líneas hembras y seis líneas machos para floración masculina (FM)	24
Figura 2 Aptitud Combinatoria Específica para floración masculina (FM) de 30 cruzas simples evaluadas en CAE-UAAAN-UL. 2017	25
Figura 3. Aptitud combinatoria general de cinco líneas hembras y seis líneas machos para floración femenina (FF).	26
Figura 4. Aptitud Combinatoria Específica para floración femenina (FF) de 30 cruzas simples evaluadas en CAE-UAAAN-UL. 2017.	27
Figura 5 Aptitud combinatoria general de cinco líneas hembras y seis líneas machos para altura de planta (AP).....	29
Figura 6. Aptitud Combinatoria Específica para altura de planta (AP) de 30 cruzas simples evaluadas en CAE-UAAAN-UL. 2017	30
Figura 7 Aptitud combinatoria general de cinco líneas hembras y seis líneas machos para altura de mazorca (AMZ).	31
Figura 8. Aptitud Combinatoria Específica para altura de mazorca (AMZ) de 30 cruzas simples evaluadas en CAE-UAAAN-UL. 2017	32
Figura 9. Aptitud combinatoria general de cinco líneas hembras y seis líneas machos para diámetro de mazorca (DMZ).	33
Figura 10. Aptitud Combinatoria Específica para diámetro de mazorca (DMZ) de 30 cruzas simples evaluadas en CAE-UAAAN-UL. 2017.	34
Figura 11 Aptitud combinatoria general de cinco líneas hembras y seis líneas machos para número de hileras (NH).	35
Figura 12. Aptitud Combinatoria Específica para número de hileras(NH) de 30 cruzas simples evaluadas en CAE-UAAAN-UL. 2017.	36
Figura 13. Aptitud combinatoria general de cinco líneas hembras y seis líneas machos para longitud de mazorca (LM)	38
Figura 14. Aptitud Combinatoria Específica para longitud de mazorca (LM) de 30 cruzas simples evaluadas en CAE-UAAAN-UL. 2017	39
Figura 15 Aptitud combinatoria general de cinco líneas hembras y seis líneas machos para granos por hilera (GH)	40
Figura 16 Aptitud Combinatoria Específica para granos por hilera (GH) de 30 cruzas simples evaluadas en CAE-UAAAN-UL. 2017	41
Figura 17. Aptitud combinatoria general de cinco líneas hembras y seis líneas machos para rendimiento de grano (REN).	42
Figura 18 Aptitud Combinatoria Específica para rendimiento de grano (REN) de 30 cruzas simples evaluadas en CAE-UAAAN-UL. 2017	43

I. INTRODUCCIÓN

El mejoramiento genético en maíz actualmente se enfoca en la generación de nuevos híbridos para adaptabilidad y rendimiento, explotando el efecto de heterosis el cual se refleja en mayor vigor, tamaño, mayor desarrollo, resistencia a plagas y enfermedades o estrés climático en comparación con sus progenitores, (Jara *et al.* 2010). Heterosis es un fenómeno que se presenta en la mayoría de especies alógamas como en maíz (*Zea mays* L.), donde los híbridos superan a sus progenitores en uno o más caracteres entre los que sobresale el rendimiento de grano y forraje. Los métodos de mejoramiento genético para la formación de híbridos tienen como objeto final capturar al máximo la heterosis entre los progenitores seleccionados (Ramírez *et al.* 2007). Conocer la acción génica que controla los caracteres mediante la aptitud combinatoria de los progenitores, el mejorador logra mayor eficiencia en su programa de mejoramiento, porque permite seleccionar progenitores con un comportamiento promedio aceptable en una serie de cruzamientos e identificar combinaciones específicas con un comportamiento superior a lo esperado, con base en el promedio de los progenitores que intervienen en el cruzamiento (Luna *et al.* 2013). Se piensa utilizar el diseño Carolina del norte II que es de apareamiento factorial donde cada miembro de un grupo de machos se aparee con cada miembro del grupo de las hembras. Este diseño el cuadrado medio para machos y el de hembras proporcionan estimaciones directas de ACG para machos y hembras respectivamente, mientras que la interacción macho y hembras, estimación de la ACE (Gallegos *et al.* 2015). Los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), sirven para expresar el comportamiento promedio de una línea en sus combinaciones híbridas, y para designar las combinaciones híbridas que resultan mejor o peor de lo que se esperaría en relación con el promedio de la ACG de las dos líneas progenitoras (Luna *et al.* 2013).

1.1. Objetivo general

Estimar la aptitud combinatoria general y específica en líneas y cruzas de maíz.

1.2. Hipótesis

Ho: Las líneas y sus cruzas difieren en su aptitud combinatoria general y específica

Ha: Las líneas y sus cruzas no difieren en su aptitud combinatoria general y específica

II. Revisión de literatura

2.1. Hibridación

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

La heterosis es un fenómeno que se presenta en la mayoría de las especies alógamas como el maíz, donde los híbridos superan a sus progenitores en uno o más caracteres entre los que sobre sale el rendimiento de grano. Por ello 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). Jugenheirmer (1990) menciona que la heterosis se manifiesta principalmente en las plantas de la generación F1 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 *et al.* (1988) considero 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. Puerta (1992) indica 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.

Existen varias hipótesis que tratan de explicar la heterosis, hasta la fecha no hay que explique total y satisfactoriamente; sin embargo, las más aceptadas son: la hipótesis de dominancia, propuesta por Bruce (1910) y la de sobredominancia por Shull (1911). La hipótesis de dominancia se basa en que el híbrido es heterocigoto lo cual oculta el efecto negativo de los genes recesivos mientras que la sobredominancia implica la existencia de un complemento especial de los alelos en el heterocigoto que incrementa el vigor.

Ramírez *et al.* (2017) Indica que en el mejoramiento genético en maíz (*Zea mays* L.) en la síntesis de híbridos se expresa al máximo la heterosis. Esto se debe a las acciones genéticas aditivas, de dominancia, sobre dominancia, epistática; así como las interacciones genético-ambientales que contribuyen a la existencia de heterosis, que a su vez se basa en el cruzamiento de germoplasma con acervos genéticos y orígenes geográficos distintos.

Como se viene diciendo, la hibridación en maíz se considera como un método geotécnico que tiene como objetivo principal el aprovechamiento de la generación F₁ (híbrido F₁) 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).

2.2. Aptitud combinatoria

Es la capacidad que tiene una línea para transmitir productividad conveniente a su progenie híbrida se conoce con el nombre de Aptitud Combinatoria, la cual puede ser general si mantiene su comportamiento medio en una serie de combinaciones híbridadas; o específica cuando se refiere al comportamiento de una combinación de dos líneas específicas en una determinada cruce, la cual se juzga por la relación que existe entre el comportamiento de las líneas en una determinada cruce y el comportamiento medio de las líneas en una serie de cruces (Poehlman,1947).

Davis (1927) propuso por primera vez que la aptitud combinatoria de las líneas endogámicas de maíz podría estimarse mediante el comportamiento de sus cruces con un probador común y que esta prueba se podría efectuar en cualquier etapa de desarrollo de las líneas.

La aptitud combinatoria, Marques (1998) la define como la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, medida por medio de su progenie. En términos estadísticos Falconer (1990) define la aptitud combinatoria general como los efectos principales de efectos aditivos y la aptitud combinatoria específica como una interacción estadística de los efectos no aditivos (principalmente de dominancia). Estudios de aptitud combinatoria demuestran la importancia en cuanto a la identificación de los progenitores potenciales que pueden ser útiles para producción de híbridos o para el desarrollo de poblaciones compuestas o sintéticas (Martínez 1983). Sin embargo, la aptitud combinatoria debe determinarse no solo en un individuo si no en varios (población); a fin de poder seleccionar los que presenten la más alta aptitud combinatoria.

Gutiérrez *et al.* (2004) y Castañón- Nájera *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.

2.3. Aptitud combinatoria general

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

Jugenheimer (1981) dice que la ACG es el desempeño promedio de una línea pura en alguna combinación híbrida. y demás proporciona información sobre las líneas con alto grado de endogamia que deben producir los mejores híbridos, mientras que la ACE es el desempeño de ciertas combinaciones que son relativamente mejores o peores híbridos que aquellas que se esperaría, basándose en el comportamiento medio de las líneas combinadas. Robles (1986) también menciona que la prueba de ACG es un medio de hacer una selección preliminar de un alto número de líneas, ya que determina en cierta forma el comportamiento promedio de las líneas S_1 , puesto que en esta etapa de autofecundación todavía existe bastante heterogeneidad genética dentro de cada una de ellas.

Preciado *et al.* (2005) señalan que cuando se detectan afectos mayores de la aptitud combinatoria general, es factible explotar la proporción aditiva de la varianza genética disponible mediante cualquier variante de la selección recurrente. Para tal estimación han sido utilizados los diseños dos y cuatro de Griffing que estiman los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) a partir de sus componentes de varianza Montesinos *et al.* (2005).

Rojas *et al.* (1952) concluyeron que la Aptitud Combinatoria General en maíz, es relativamente más estable en localidades y años, que la Aptitud Combinatoria Específica; en su estudio, los efectos aditivos casi no fueron influenciados por el ambiente en líneas de maíz seleccionadas; mientras que en materiales no seleccionados ocurrió lo contrario.

2.4 Aptitud combinatoria específica

La ACE evalúa la acción génica debida a todos los efectos no adictivos; o sea efectos de dominancia, de epistasis, de interacciones génicas, e inclusive la interacción genética-ambiental y se usa para designar las cruzas que se comportan mucho mejor o peor que lo esperado en virtud del comportamiento de los progenitores (Morales, 2001).

Brauer (1969) señala que la Aptitud combinatoria Especifica es la de mayor frecuencia posible en combinaciones heterocigóticas Aa y que la presencia de combinaciones dominantes o recesivas homocigóticas significa un cierto grado de individuos con las combinaciones indeseables para medir tal aptitud.

Sprague *et al.* (1942) definen a la Aptitud Combinatoria Especifica como aquellos casos en los cuales ciertas combinaciones híbridas hacen relativamente mejores o peores que lo que podría ser esperado en base al comportamiento promedio de las líneas incluidas.

Falconer (1970) dice que la ACE de una craza no puede ser medida sin hacer y sin probar dicha craza particular, por lo tanto, para lograr una intensidad de selección razonablemente alta para la ACE tiene que hacerse un gran número de cruzas.

Así Preciado *et al.* (2005) señala que en cruzamientos donde se registra mayor aptitud combinatoria específica puede implementarse un programa de selección recurrente recíproca o de hibridación. En comparación con otras variables de la Cruz *et al.* (2005) y Dhillon *et al.* (1990) encontraron diferencia significativa para la ACE de los caracteres producción de forraje verde, materia seca total y porcentaje de mazorca.

2.5. Diseños genéticos

Hasta el momento, los modelos matemáticos para estimar parámetros genéticos de poblaciones ignoran epistasia 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 en estos modelos ha sido posible interpretar las varianzas genéticas aditiva y de dominancia de diferentes tipos de poblaciones de maíz de polinización libre.

2.6. Análisis Dialélico

Los cruzamientos dialélicos son los sistemas de apareamiento más empleados en los programas de fitomejoramiento, ya que permiten conocer las propiedades genéticas del material en estudio, posibilitado, además, detectar progenitores y cruzamientos superiores (Sprague y Tatum, 1942).

El método de análisis dialélico propuesto por Hayman (1954,1958), fue desarrollado para ser utilizado en cruzamientos dialélicos que incluyen líneas homocigotas únicamente y plantas autógamias.

Los diseños de apareamiento dialélicos pueden ser muy útiles si se analizan e interpretan correctamente. Los esquemas de cruzamientos dialélicos y análisis se han desarrollado para progenitores que pueden ser líneas o variedades de amplia base genética. Griffing (1956) publico cuatro métodos (I, II, III, y IV).

2.7. Diseños de Carolina del Norte

Estos diseños fueron creados por Comstock y Robinson (1948) en Carolina del Norte. La técnica de apareamiento entre progenitores se conoce tres métodos.

Diseño I. Conocido como diseño anidado o jerárquico. Bajo esta técnica, cada macho es apareado con un grupo de hembras, con restricción que cada hembra solo participa en una sola cruce. El grupo de progenies de medios hermanos descendientes del mismo macho, se denomina grupo macho (Márquez, 1998).

Diseño II. Conocido como diseño factorial o cruzado. Esta técnica de apareamiento consiste en cruzar un grupo de progenitores machos con uno de hembras en todas las combinaciones posibles. La única limitación es que unos progenitores actúan como machos y otros solo como hembras. Este diseño tiene la ventaja de manejar un número grande de progenitores con respecto a los dialélicos (Hallauer *et al.*, 1981).

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 familias de hermanos completos (MF). 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 genera una nueva situación que amerita un análisis particular.

El diseño II de carolina del norte se utilizan dos conjuntos de líneas; el primero funcionara únicamente como macho, mientras que el segundo actuara como hembra. cada uno de los machos es cruzado con dada una de las hembras.

La variación fenotípica obtenida de estas cruces se divide de acuerdo: i) diferencia entre machos; ii) diferencia entre hembras; iii) y a la 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 cruces 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 retro cruce hacia ambos progenitores), obteniendo $2n$ cruces posibles.

Diseño III. Este diseño fue desarrollado con la finalidad de estimar el grado de dominancia de los genes que controlan los caracteres en estudio. Este apareamiento consiste en retro cruzar plantas de la F_2 , que son tomadas de la población, las cuales se usaran como machos para polinizar los dos progenitores endogámicos, de las que desciende la F_2 utilizando (Hallauer *et al.*1981). Este diseño tiene la finalidad de estimar la varianza aditiva y la de dominancia) (Márquez 1988).

III.MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización geográfica del área de estudio

El presente proyecto se realizó en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN- UL), en Torreón Coahuila. Se localiza geográficamente en las coordenadas 25°33´ y 27´´ latitud norte, y en los meridianos 103° 22´14.28´´ longitud oeste, con 1120 msnm y el clima es seco, caluroso, con temperaturas media anual de 20 a 22° C, precipitación media anual de 300 mm con lluvias en los meses de septiembre, octubre y noviembre y vientos dominantes alisios en dirección sur, con velocidades desde 27- 44 km/h (INEGI, 2008).

3.2 Fases del proyecto

3.2.1 Realización de cruzamientos

Durante el ciclo agrícola primavera-verano del 2016, se estableció un lote para la realización de las cruzas. Para las cruzas se utilizaron 11 líneas endogámicas de maíz, tres provenientes del banco de germoplasma del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y siete del programa de mejoramiento de la UAAAN U-L. Se formaron dos grupos: las líneas con numerales del 1 al 6 se utilizaron como progenitor macho (M) y, del 23 al 28 como hembras (H), con excepción de la línea 24 (Cuadro 3.1) y, se realizaron las cruzas entre ambos grupos de acuerdo al esquema de apareamiento del Diseño-II de Carolina del Norte (Comstock y Robinson, 1948) generándose 36 cruzas (Cuadro 3.2).

Cuadro 1. Genealogía de material genético utilizado como progenitores, 2016

Número de Línea	Progenitor	Genealogía	Origen
1	M†	A-30-01	UAAAN-UL
2	M	A-57-02	UAAAN-UL
3	M	A-18-05	UAAAN-UL
4	M	A-39-07	UAAAN-UL
5	M	A-06-11	UAAAN-UL
6	M	A-56-14	UAAAN-UL
23	H	AN-77-185	UAAAN-UL
25	H	CML-508-43	CIMMYT
26	H	CML-509-44	CIMMYT
27	H	AN-82-190	UAAAN-UL
28	H	AN-78-186	UAAAN-UL

†: M=Macho, H=Hembra

Cuadro 2. Esquema de las cruzas entre las líneas hembra y macho de maíz con el diseño II de Carolina del Norte. UAAAN Unidad Laguna, 2016

Hembras	Machos	1	2	3	4	5	6
		A-30-01	A-57-02	A-18-05	A-39-07	A-06-11	A-56-14
23	AN-77-185	23x1	23x2	23x3	23x4	23x5	23x6
25	CML-508-43	25x1	25x2	25x3	25x4	25x5	25x6
26	CML-509-44	26x1	26x2	26x3	26x4	26x5	26x6
27	AN-82-190	27x1	27x2	27x3	27x4	27x5	27x6
28	AN-78-186	28x1	28x2	28x3	28x4	28x5	28x6

3.2.2 Evaluación de las cruzas

Las cruzas se evaluaron en el ciclo primavera- verano del 2017. El diseño experimental fue un alfa latice en bloques al azar con tres repeticiones. La parcela experimental fue de dos surcos de 3.0 m de largo y 0.75 m de ancho con separación entre plantas de 0.14 m, (4.5 m²) con 42 plantas por tratamiento con una densidad de 95,235 plantas ha⁻¹.

3.3 Siembra

La siembra se llevó a cabo el 01 de abril en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. La siembra fue en

seco, de forma manual, depositando dos semillas por golpe. Posterior a la siembra, se aplicó un riego para promover la germinación.

3.4 Manejo agronómico

3.4.1 Fertilización

La fertilización se realizó con la fórmula 180-100-00 para Nitrógeno, Fósforo y potasio respectivamente.

3.4.2 Riegos

Los riegos se llevaron a cabo de dos formas: por cintilla (goteo) y rodado. Por cintilla se para promover la germinación y establecimiento de las plántulas. Posteriormente se realizaron tres (3) riegos por inundación con una lámina de 15 cm.

3.4.3 Control de maleza

Se realizó con una aplicación de herbicida pre-emergente Harness (concentrado emulsionable pre emergente, con ingrediente activo Acetoclor: 2-cloro-N-etoximetil-6 etilacet-o-toluidida al 75.3%, e ingredientes inertes: Protector, solvente, emulsificante, estabilizador y portador al 24.7%), a una dosis de 2.0- 3.0 L/Ha. De forma manual para controlar la maleza se hicieron labores culturales con el azadón, además del cultivo realizado en la etapa V7.

3.4.4 Control de plagas

El problema principal de plagas fue el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) ocasionando más daños durante todo el ciclo, para la cual se realizaron consecutivas aplicaciones con diferentes insecticidas, con el fin de tener un control adecuado de las plagas presentes durante todo el desarrollo de la planta de maíz.

Cuadro 3 Productos utilizados para el control de plagas. Las aplicaciones se realizaron de manera manual con mochila de 20 L

Plaga	Producto	Dosis	Ingred. Activo	Ingred. Inerte
Gusano cogollero (Spodoptera frugiperda)	*CYREN 480 (Concentrado emulsionable)	0.5-1.5 L Ha ⁻¹	* Clorpirifos etil: O,O-Dietil-O-(3,5,6-tricloro-2-piridinil) fosforotioato. 44.50%	* Solventes y emulsificantes 55.50%
	*CLORVER 480 (Concentrado emulsionable)	0.5-1.5 LHa ⁻¹	* Clorpirifos etil: O,O-dietil O-(3,5,6-tricloro-2-piridil) fosforotioato 44.50%	*Emulsificante y Diluyente. 55.50%
	*KARATE ZEAN Microencapsulado	0.300 a 0.500 L/Ha	Lambda cyalotrina: Alfa-ciano-3-fenoxibencil 3-(2-cloro-3,3,3-trifluoroprop-1-enil)-2,2-dimetil ciclopropano carboxilato, a 1:1 de los isómeros (Z)-(1R,3R), S-éster y (Z)-(1S,3S), R-éster 5.15%	Solvente, dispersante, estabilizantes, agentes de suspensión, emulsionantes y compuestos relacionados 94.85%
	CLORVER 3% G Granulado	5.0-10.0 kg/Ha	Clorpirifos etil: O,O- dietil O-(3,5,6 tricloro-2-piridinil) fosforotioato 3.00%	Diluyente 97%
	CHLORBAN 5% Granulado	25-30 Kg/Ha	Clorpirifos etil: O,O- dietil O-(3,5,6 tricloro-2-piridinil) fosforotioato 3.00%	Diluyente 97%

	PLATINO 375 Concentrado Emulsionable	0.4-0.5 L/ha	Fenpropatrin: (RS)-alfa-ciano- 3-fenoxibencil- 2,2,3,3- tetrametilciclopr opano carboxilato 38.50%	Solvente y emulsificant es 61.50%.
	ADHERENTE 30 Coadyuvante	40-100 mL/100 L H2O	ALQUIL-ARIL POLIGLICOL ETER Alquilaril polioxietilen éter 30%	DILUYENT ES (Agua) y Estabilizad or 70%
ARAÑA ROJA (<i>Tetranychus rticae</i>)	ARQUIA 18 Concentrado Emulsionable	80-100 ml/100 L de Agua	Abamectina (avermectina): Mezcla de avermectinas B1 contenido no más del 80% de Avermectina B1a y no menos del 20% de avermectina B1b 1.80%	Disolvente, emulsificant es y antiespuma ntes 98.20%.
	*Bombasil 90 PS Polvo soluble	300- 350 gr/Ha	*Metomilo: S- metil (EZ) –N- (metilcarbamoilo xi) tioacetimidato 90%	Diluyente 10%

3.5. Variables evaluadas

3.5.1. Floración masculina (FM)

Se cuantificó como los días que transcurrieron de la siembra, hasta la fecha en la cual el cincuenta por ciento de las plantas de cada parcela se encontraron produciendo polen.

3.5.2. Floración femenina (FF)

Corresponde a los días transcurridos desde la siembra hasta cuando en las plantas de cada parcela expresan más del cincuenta por ciento los estigmas con una longitud de 2 a 3 cm de largo.

3.5.3. Altura de la planta (AP)

Se cuantificó en cinco plantas al azar en cada parcela. Las plantas se midieron desde la base del tallo hasta la base de la espiga, los datos se registraron en metros.

3.5.4. Altura de la mazorca (AM)

Se cuantificó en cinco plantas al azar por cada parcela, desde la base de la planta hasta el nudo del tallo donde se encuentra la mazorca superior registrando los datos en metros.

3.5.5. Diámetro de la mazorca (DMZ)

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

3.5.6. Longitud de la mazorca (LM)

La longitud de la mazorca se obtuvo en cm, desde la base del pedúnculo hasta su ápice de la mazorca para obtener estos datos se utilizó una regla de 30 cm.

3.5.6. Número de hileras de la mazorca (HM)

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

3.5.7. Granos por hilera de la mazorca (GH)

Se contaron el total de granos de una hilera que tuviera una hilera con granos totales la más uniforme. Esto se realizó con las 5 mazorcas.

3.5.8. Rendimiento de grano

Se tomó una muestra aleatoria de 100 g de grano de cada parcela, para determinar el contenido de humedad al momento de la cosecha. Se realizó con un determinador de humedad marca Dickey y John, calculándose el por ciento de humedad por diferencia con el 100 por ciento.

3.5.9. Peso seco

El peso seco se estimó multiplicando el por ciento de materia seca por el peso de campo. Finalmente, el rendimiento en mazorca al 15.5 por ciento de humedad. Se multiplico el peso de campo por el factor de conversión a ton ha⁻¹.

$$FC = \frac{10\ 000\ m^2}{APU \times 0.845 \times 1\ 000}$$

Donde: **FC** = Factor de conversión a ton ha⁻¹; **APU** = Área de parcela útil (distancia entre surcos x longitud de surco x número de surcos), **0.845** = Constante para obtener el rendimiento al 15.5 por ciento de humedad, **1 000** = Coeficiente para obtener el rendimiento en ton ha⁻¹, **10 000 m²** = Superficie de una hectárea.

3.6. Análisis estadístico.

3.6.1. Análisis del Diseño II de Carolina del Norte

Para las estimaciones de los componentes de la varianza genética, se utilizó el Diseño II de Carolina del Norte, propuesto por Comstock y Robinson (1948); la población se dividió en dos grupos, que constaron de seis líneas como progenitor macho y cinco como progenitor hembra. Este diseño hace posible los cruzamientos entre un grupo de individuos macho (m) y un grupo de individuos hembra (h), resultando en total los (hm) descendientes, por lo que se le conoce también como diseño biparental o factorial. Así, cada apareamiento produce una familia de

hermanos completos y el grupo de cruzas que tengan un progenitor en común constituye una familia de medios hermanos. Una ventaja de usar este diseño es que permite incluir mayor número de progenitores, aprovechando mejor los recursos, ya que en los dialélicos no es posible.

El modelo lineal que sigue el Diseño II de Carolina del Norte es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + M_i + H_j + \phi_{ij} + \epsilon_{ijk} ;$$

Donde: $i = 1, 2, \dots, m$ (machos), $j = 1, 2, \dots, h$ (hembras), $k = 1, 2, \dots, r$ (repeticiones), Y_{ij} = Observación de cruzamiento entre el i -ésimo macho y la j -ésima hembra en la k -ésima repetición, μ = Es el efecto de la Media general; H_j = Efecto de la j -ésima hembra, ϕ_{ij} = Efecto de la interacción de i -ésimo macho con la j -ésima hembra, ϵ_{ijk} = Error experimental asociado con la ij -ésima cruza en la k -ésima repetición.

Para los diferentes caracteres estudiados se realizó un análisis de varianza para la localidad de Torreón Coahuila, con base en el Diseño II de Carolina del Norte y se utilizó el paquete estadístico de Rodríguez *et al.*, (2015) considerando las recomendaciones para la estimación de componentes de varianzas y covarianzas, tal como describen Eisenhart (1947) y Henderson (1953), para el caso de efectos hijos.

Cuadro 4 Análisis de varianza bajo el Diseño II de Carolina del Norte. Todos los efectos son hijos.

Cuadro 4 Análisis de varianza bajo el Diseño II de Carolina del Norte. Todos los efectos son hijos

FV	GL	CM	ECM
Repeticiones	$r-1$		
Machos (M)	$m-1$	M4	$\sigma^2 E + r\sigma^2 M^*H + rh\sigma^2 M$
Hembras (H)	$h-1$	M3	$\sigma^2 E + r\sigma^2 M^*H + rm\sigma^2 H$
MxH	$(m-1)(h-1)$	M2	$\sigma^2 E + r\sigma^2 M^*H$
Error Exp	$mh(r-1)$	M1	$\sigma^2 E$
Total	$Mhr-1$		

3.6.2. Estimaciones de Aptitud Combinatoria

Las estimaciones de los componentes de varianza genética, de Aptitud Combinatoria General (ACG) y Especifica (ACE) con la finalidad de determinar el comportamiento genético en los progenitores y las cruzas, se realizó con las variables descritas, además del rendimiento, utilizando las fórmulas de Sprague y Tatum, (1942).

$$\text{Machos ACG} = (X1 - X2)$$

Donde: X1 = Media del rendimiento del progenitor macho, X2 = Media general,

$$\text{ACG} = (X3 - X2)$$

Donde: X3 = Media del rendimiento del progenitor hembra y X2 = Media general.

Para cruzas **ACE** = $(X1 - X2) - GP1 - GP2$.

Donde: X1 = Media de rendimiento de la craza, X2 = Media general, GP1 = ACG del progenitor 1 y GP2= ACG del progenitor 2.

IV.RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de varianza

Los resultados del análisis de varianza para el diseño-II de Carolina del Norte, se presentan en el Cuadro 5., para nueve variables agronómicas y rendimiento. Se detectaron diferencias altamente significativas para las nueve variables en las cruzas, lo cual es una clara evidencia de las diferencias. Así mismo se observan diferencias entre los progenitores machos (M) y, con excepción de las variables DMZ y NH, las hembras (H) fueron estadísticamente diferentes ($p < 0.01$). Estas diferencias indican la variación genética que existe entre los progenitores y, esto originará que al cruzarse dos líneas altamente homocigóticas y contrastantes produzcan un híbrido altamente heterocigote. Al desempeño promedio de una línea en combinaciones híbridas (**Jugenheimer, 1981**) se conoce como aptitud combinatoria general. La Aptitud Combinatoria General se debe a efectos genéticos aditivos, y es la estimación de la cuantía de los efectos de los genes de acción aditiva.

Cuadro 5 Significancia de nueve variables medidas en 30 cruzas simples originadas de cinco líneas machos y 6 hembras, bajo el diseño-II de Carolina del Norte, 2017

FV	GL	FM	FF	AP	AMZ	LM	DMZ	NH	GH	REN
Rep	2	**†	*	ns	ns	ns	Ns	*	*	*
Cruza	29	**	**	**	**	**	**	**	**	**
M	5	**	**	**	**	**	**	**	**	**
H	4	**	**	**	**	**	ns	ns	**	**
M x H	20	**	**	**	**	ns	*	**	**	**
EE	58	1.5	1.0	0.01	0.04	0.88	0.01	0.87	5.17	14.71
CV (%)		1.4	1.8	3.6	4.5	5.3	3.5	6	5.8	9.5
Media		73.0	70.4	2.5	1.5	17.9	48.8	15.5	38.9	1280

†: ns, *, ** =no-significativo y significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad. FM= Floración masculina, FF= Floración femenina, AP= Altura de planta, AMZ= Altura de mazorca, LM= Largo de mazorca, DMZ= Diámetro de mazorca, NH= Número de hileras, GH= Granos por hilera, REN= Rendimiento de grano.

4.2. Valores medios.

Los valores medios del Cuadro 6, muestran las diferencias entre las líneas machos (M) y hembras (H) utilizadas. Las líneas machos (M), 4 y 5 fueron más precoces que el resto y, la línea 3 la de mayor rendimiento medio ($14,068 \text{ t ha}^{-1}$) estadísticamente igual a las líneas 5 y 6. La línea 5, debe quizás su rendimiento al DMZ y NH, en tanto la línea 3 a la LM y a los GH.

Las hembras (H) 25 y 28 sobresalen por su rendimiento de grano (REN) y coinciden en tener la mazorca con mayor longitud (LM) y granos por hilera (GH) los cuales pueden explicar la causa de su potencial de rendimiento. La línea 25 originaria del CIMMYT(CML-508-43) y la Línea 28 de la UAAAN-UL (AN-78-186).

Puesto que estas líneas exhiben rendimientos de grano por arriba de la media, es muy probable que presenten valores positivos de la ACG. De acuerdo con Poehlman, (1974) la capacidad que tiene una línea para transmitir productividad conveniente a su progenie híbrida se conoce con el nombre de aptitud combinatoria, la cual puede ser general si mantiene su comportamiento medio en una serie de combinaciones híbridas; o específicas cuando se refiere al comportamiento de una combinación de dos líneas específicas en una determinada cruce.

El comportamiento de las combinaciones de Machos y Hembras se observa en el cuadro 7., con las 13 cruces con rendimientos estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$). La cruce **27x3** exhibe el mejor rendimiento con 15043 Kg ha^{-1} , seguido de 12 cruces. El rendimiento de las 13 cruces superó la media general y es probable que estas combinaciones presenten efectos de ACE positivos.

Cuadro 6 Valores medios de las variables cuantificadas en las líneas macho y hembra.

Machos	FM	FF	AP	AMZ	DMZ	NH	LM	GH	REN
1	72	75	2.38	1.39	49.2	17	17.4	37.5	11438
2	70	73	2.40	1.39	49.1	15	18.3	39.1	12476
3	71	74	2.54	1.48	48.7	15	19.0	42.1	14068
4	68	71	2.48	1.43	49.4	15	17.0	37.0	12255
5	69	72	2.54	1.54	50.0	16	17.3	37.4	13495
6	72	73	2.61	1.62	46.4	15	18.0	40.6	12887
Tukey†	1.07	1.07	0.10	0.08	1.83	1.01	1.01	2.4	1305
Hembra	FM	FF	AP	AMZ	DMZ	NH	LM	GH	REN
23	71	73	2.42	1.42	48.4	16	17.5	39.3	12443
25	69	71	2.51	1.44	48.2	15	18.3	37.9	13295
26	70	73	2.47	1.46	49.8	15	17.3	37.8	12059
27	72	75	2.57	1.62	48.6	15	17.9	38.8	12623
28	70	73	2.48	1.44	49.0	16	18.3	40.9	13428
Tukey†	1.15	0.93	0.08	0.07	1.6	0.88	0.88	2.1	1138

†: valores de Tukey al 0.05 de probabilidad.

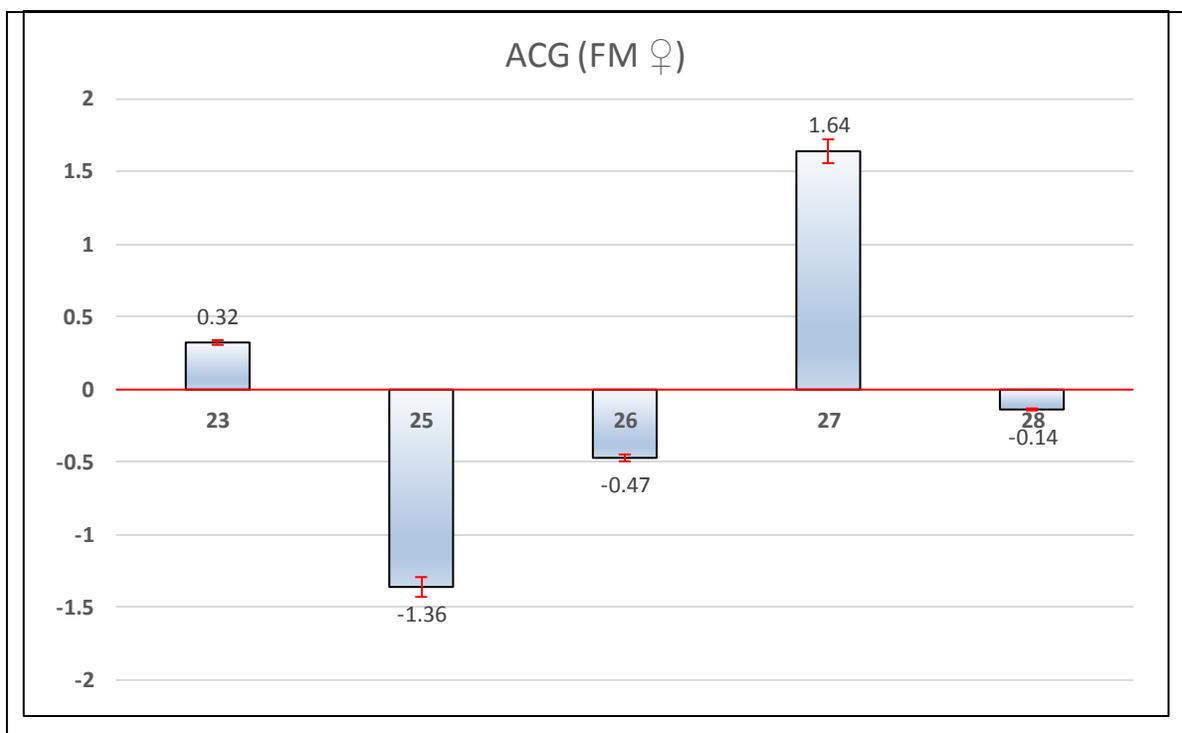
Cuadro 7. Valores medios de las variables cuantificadas en las cruzas.

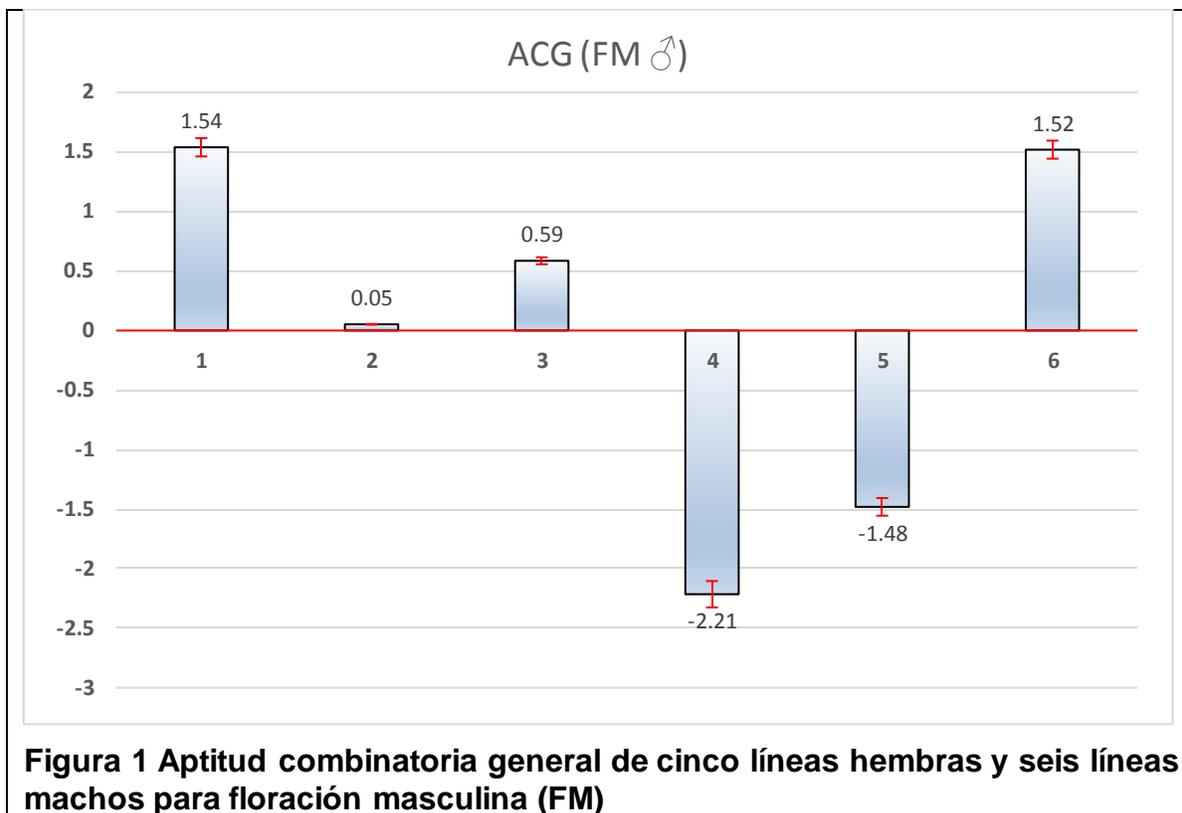
HEM	MAC	FM	FF	AP	AMZ	LM	DM	NH	GH	REN
27	3	71	75	2.66	1.67	19.1	49.8	15	39.9	15034
25	3	70	71	2.48	1.36	19.1	48.8	15	40.7	14859
28	3	70	74	2.51	1.45	19.8	51.4	16	45.6	14477
23	5	69	72	2.40	1.46	16.6	51.1	15	38.3	13951
28	1	71	73	2.30	1.26	17.8	50.1	17	38.0	13903
26	5	67	71	2.50	1.42	17.4	50.7	17	38.3	13871
25	2	68	71	2.37	1.31	18.0	48.5	16	38.7	13776
27	6	76	76	2.71	1.85	17.9	46.5	16	41.7	13728
25	6	70	72	2.68	1.55	19.0	46.4	15	37.8	13712
28	4	68	70	2.55	1.43	16.7	49.4	16	39.7	13664
27	2	72	74	2.56	1.56	18.5	48.3	14	38.3	13617
28	5	69	73	2.55	1.60	16.8	49.4	16	35.1	13394
27	5	69	73	2.62	1.61	17.8	49.8	15	39.3	13261
Media		70	73	2.0	1.0	18.0	49.0	16	39.0	12770

4.3 Aptitud combinatoria general y específica

4.3.1. Aptitud combinatoria general para floración masculina

Los valores de ACG y ACE para las variables analizadas, se presentan de forma gráfica en las Figuras del 1 al 2. Para floración masculina (FM), las Figuras 4.1 y 4.2, muestran los valores de ACG y ACE respectivamente. Las hembras 25, 26 y 28, presentaron valores negativos de ACG y, positivos la 23 y 27. Lo anterior indica que las tres primeras aportarán a su progenie precocidad no así 23 y 27. En las machos, las líneas 4 y 5 aportarán precocidad, contrario a 1 y 6.





4.3.2. Aptitud combinatoria específica para floración masculina

Tres cruzas **27x6**, **25x5** y **28x2** muestran los mayores valores positivos de ACE y por tanto las cruzas más tardías. Estas provienen de cruces de líneas con ACG Tardía x Tardía, **Precoz x Precoz** y, la cruz 28x2 de líneas con ACG cercano a cero.

Las dos cruzas **23x6** y **27x3** con valores negativos y significativos son las más precoces y provienen de líneas con ACG positivos. Por lo anterior, no siempre una cruz con ambos valores positivos o negativos garantiza resultados en el mismo sentido de la ACG de los padres, debido a la interacción de genes o epistasis. (Figura 2).

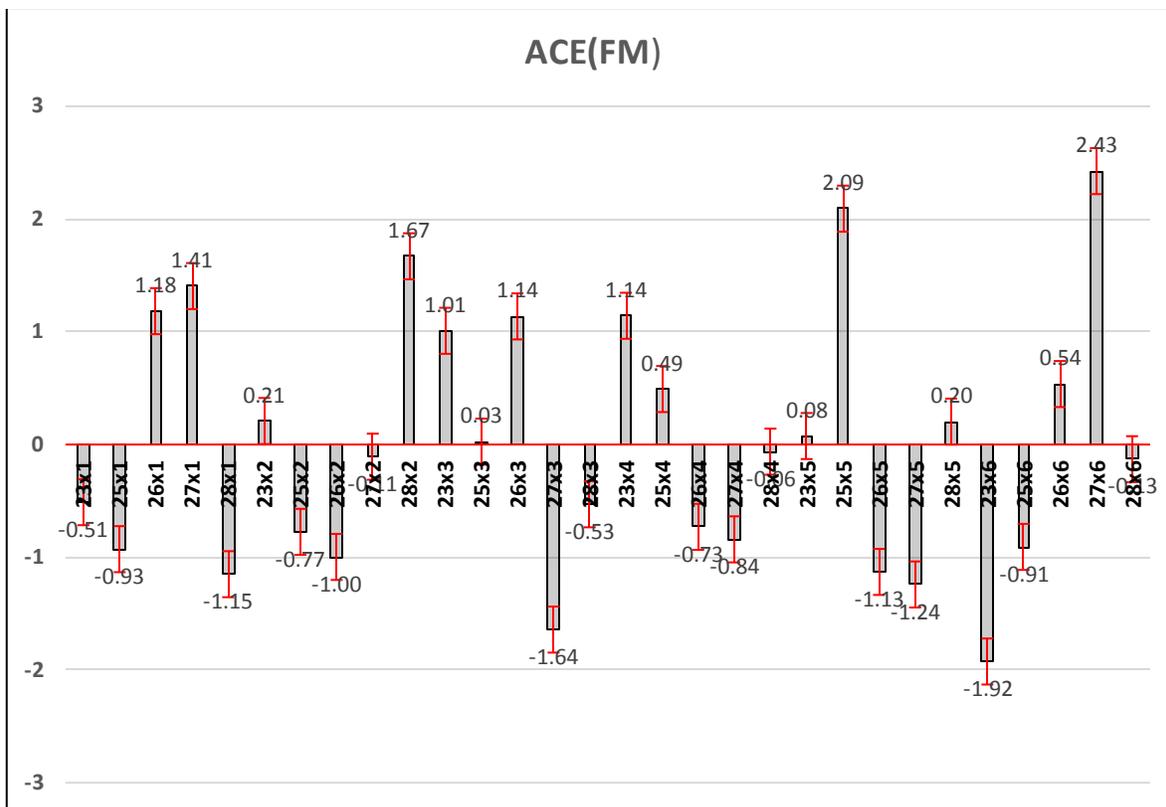


Figura 2 Aptitud Combinatoria Específica para floración masculina (FM) de 30 cruza simples evaluadas en CAE-UAAAN-UL. 2017

4.3.3. Aptitud combinatoria general para floración femenina

La ACG para floración femenina (FF), solo las líneas hembra 25 y 27, muestran valores significativos negativo y positivo respectivamente, igual a la ACG de FM. Las líneas machos 1 y 3 muestran los valores positivos y, 4 y 5 negativos significativos.

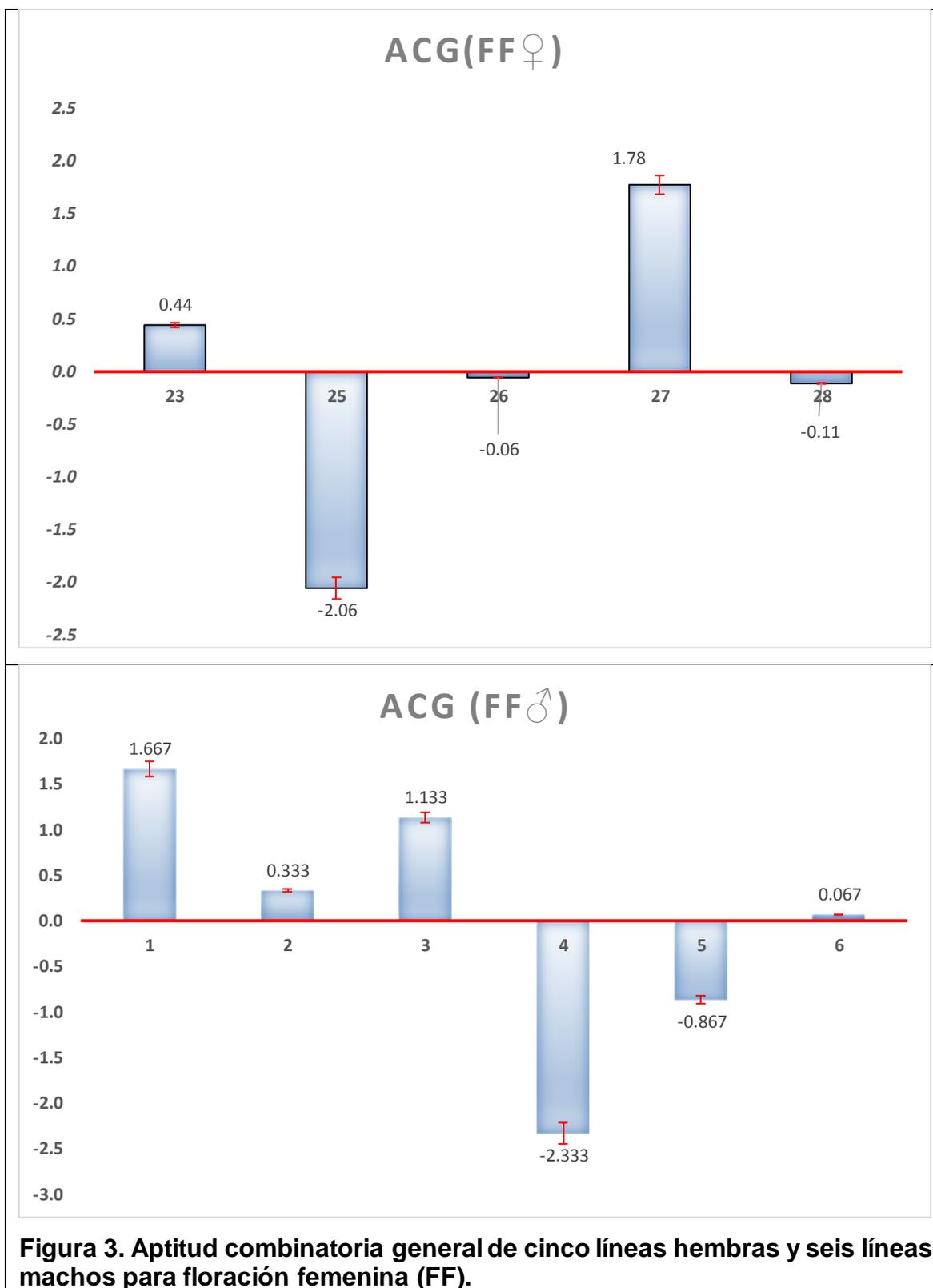


Figura 3. Aptitud combinatoria general de cinco líneas hembras y seis líneas machos para floración femenina (FF).

4.3.4. Aptitud combinatoria específica para floración femenina

La ACG de las 30 cruza Figura 4 se observan tres valores de ACE significativos positivos para **27x1**, **28x2** y **25x5**, en tanto que **25x1**, **28x1** y **23x6** muestran los valores significativos negativos. La cruza **27x1** proviene de dos líneas con valores de ACG positivos, 28x2 con valores no-significativos de ACG y, 25x5 con valores de ACG negativos-significativos. La cruza 25x1 proviene de dos progenitores con ACG de diferente signo.

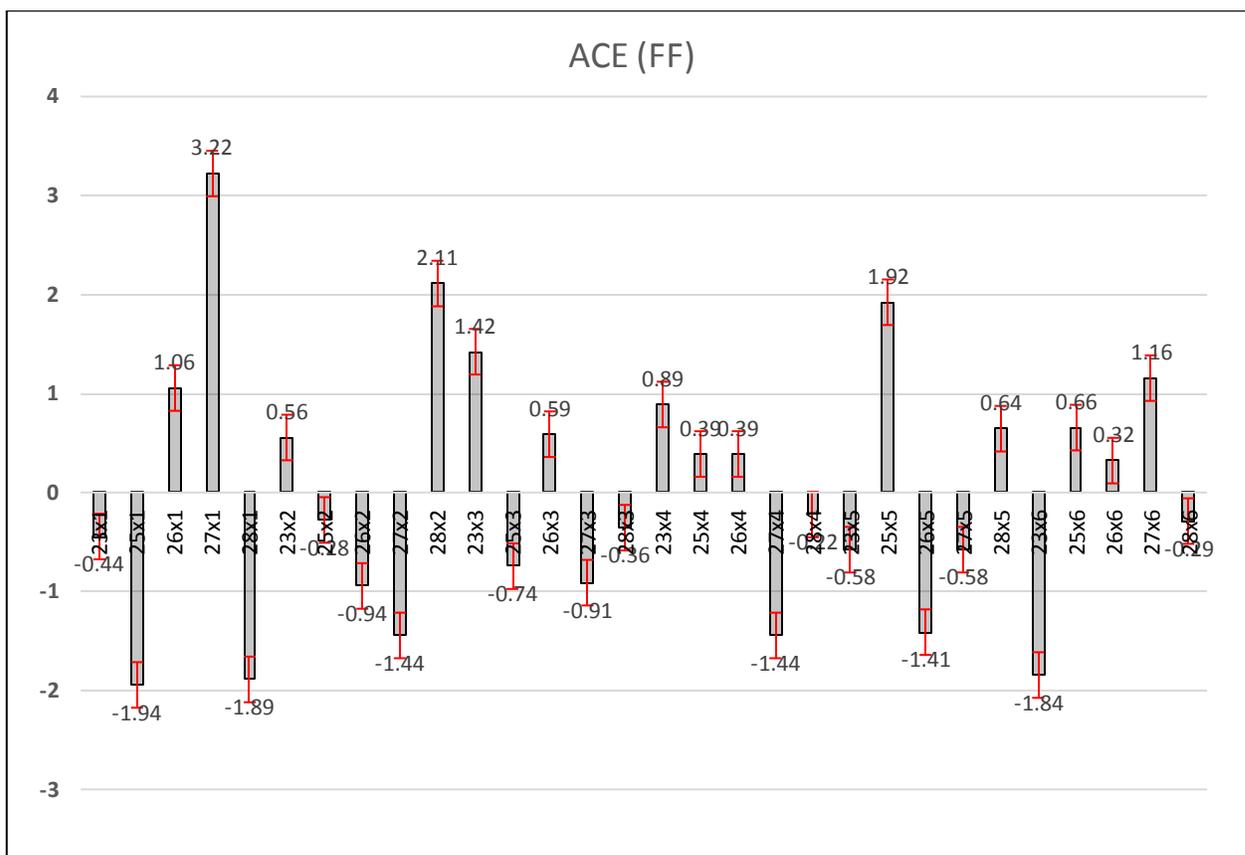
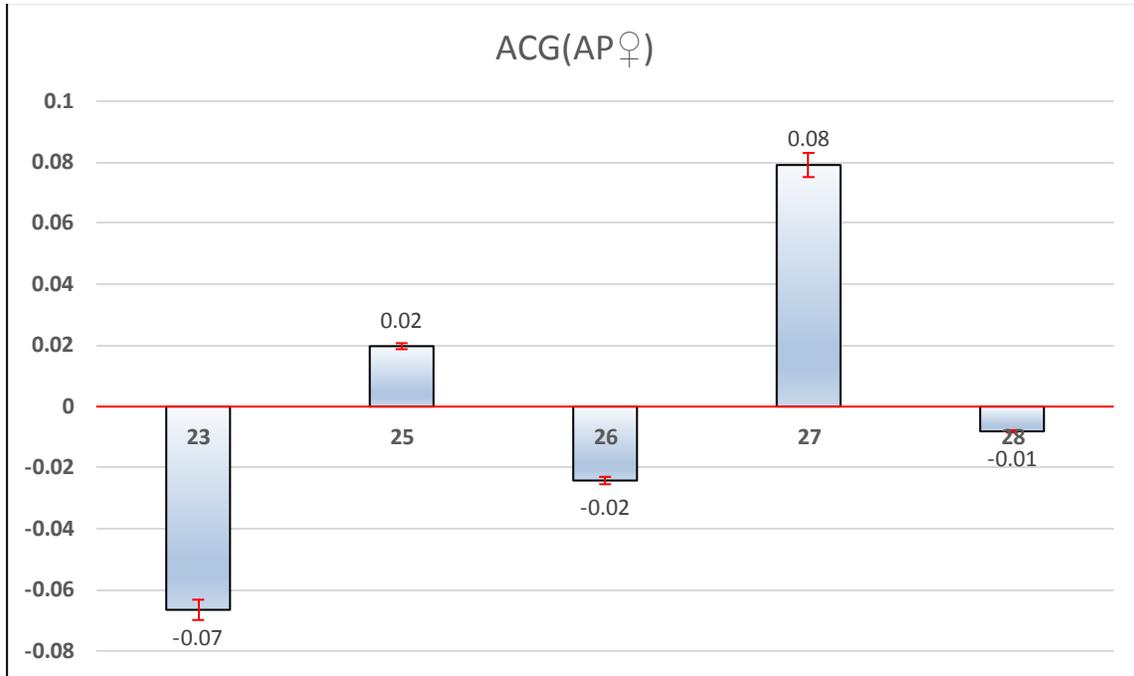


Figura 4. Aptitud Combinatoria Específica para floración femenina (FF) de 30 cruza simples evaluadas en CAE-UAAAN-UL. 2017.

4.3.5. Aptitud combinatoria general para altura de planta

Para altura de planta (AP) en las líneas hembra, solo la línea 23 y 27 muestran valores significativos. La 23 con valor negativo y 27 positivo. Respecto a los machos, las líneas 1, 2 con valores negativos y significativos y la línea 6 positivos

significativos. Hembras y machos con valores negativos transmitirán a su progenie menor altura y, lo contrario, la línea 6 condicionará una mayor altura.



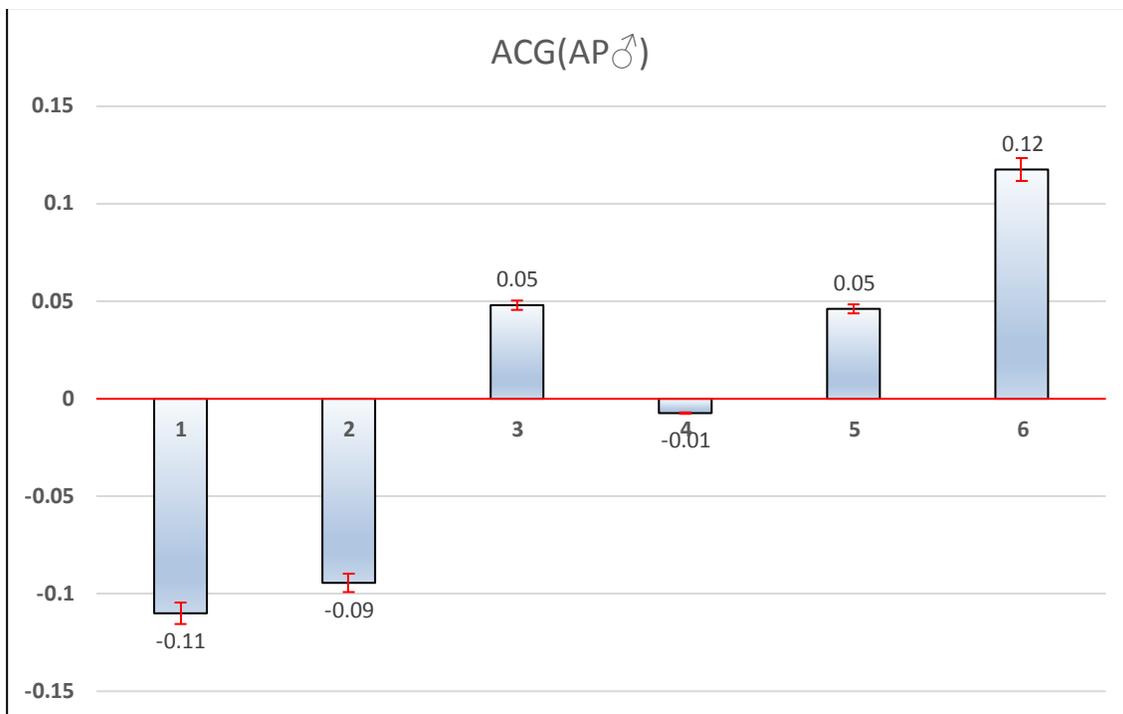


Figura 5 Aptitud combinatoria general de cinco líneas hembras y seis líneas machos para altura de planta (AP)

4.3.6. Aptitud combinatoria específica para altura planta

Cinco de las 30 cruzas exhiben valores de ACE positivos significativos y siete valores negativos significativos. Las cruzas 23x1 y 27x2 las que expresan la magnitud en AP y con menos expresión de la AP las cruzas 27x1 y 23x2. La cruza 23x1 proviene de dos líneas con valores de ACG negativos, en contraste, la cruza 27x2 resulta de valores **positivo x negativo** de ACG, lo mismo se observa en 27x1 y **negativo x negativo** para 23x2. Estos resultados se explican por la interacción de genes y/o epistasia.

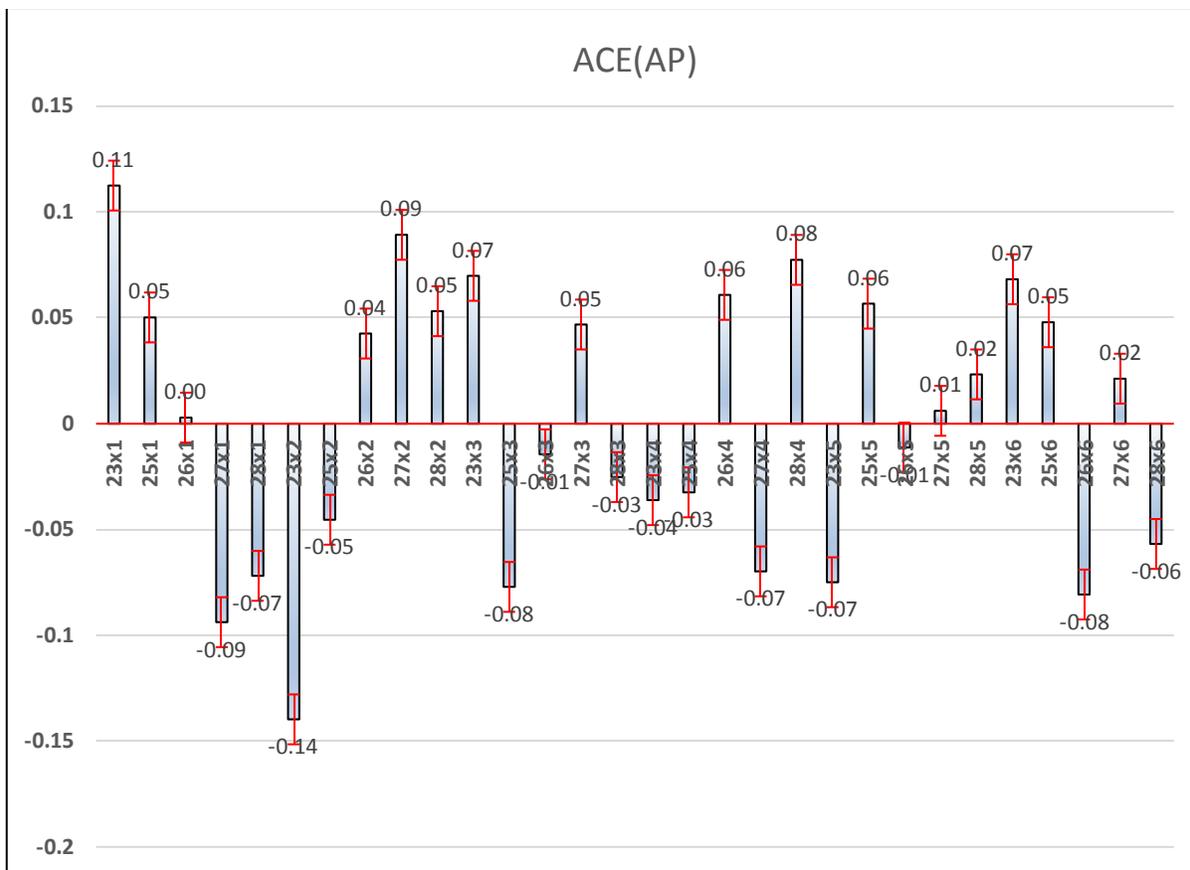


Figura 6. Aptitud Combinatoria Específica para altura de planta (AP) de 30 cruzas simples evaluadas en CAE-UAAAN-UL. 2017

4.3.7. Aptitud combinatoria general para altura de mazorca

Para AMZ, la línea hembra 27, presentó el único valor positivo y significativo, al igual que la línea 6 en los machos. Estas líneas, en promedio transmitirán a sus cruzas ó combinaciones una mayor altura.

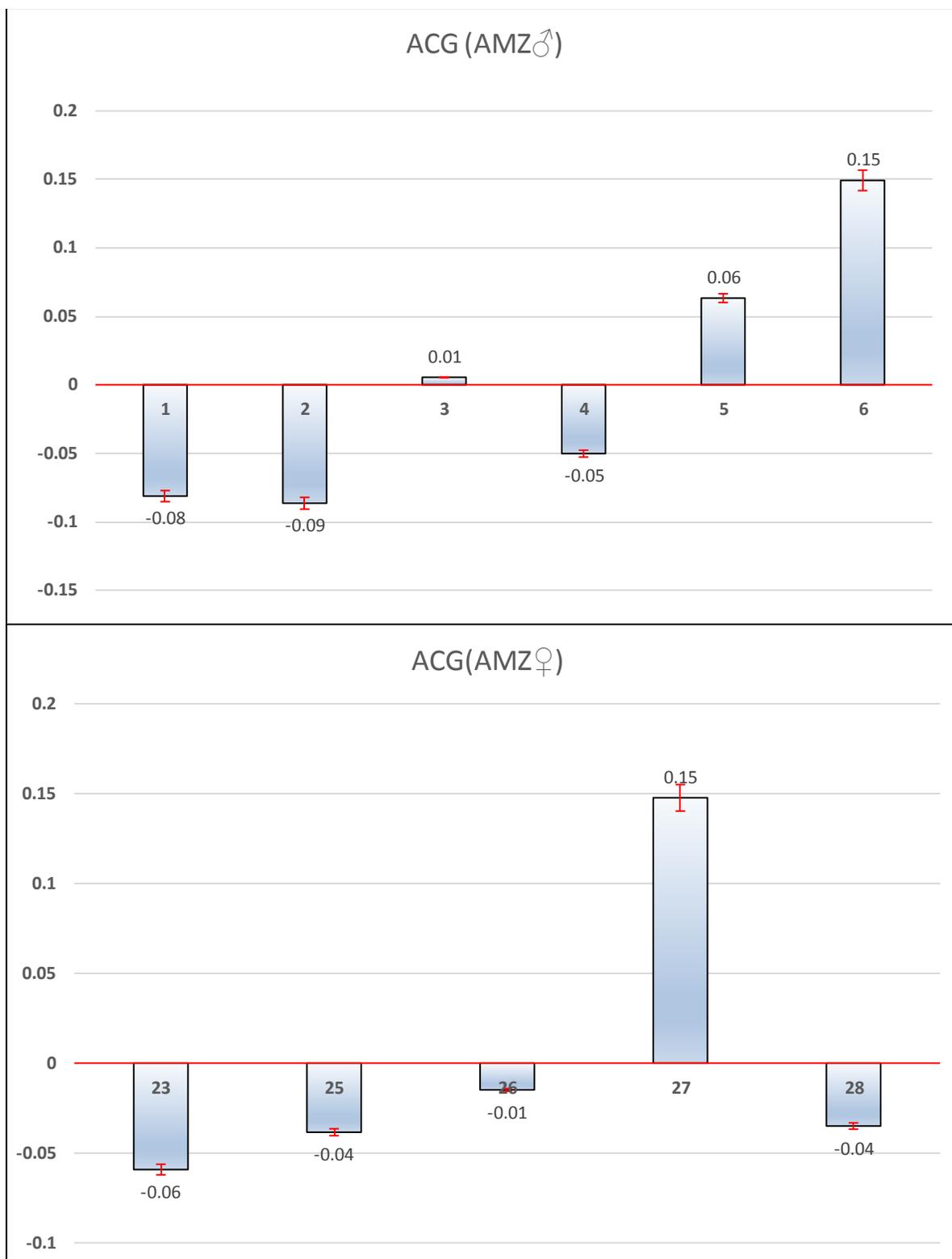


Figura 7 Aptitud combinatoria general de cinco líneas hembras y seis líneas machos para altura de mazorca (AMZ).

4.3.8. Aptitud combinatoria específica para altura de mazorca

Las cruzas 23x1, 25x5, 28x5 y 23x6 muestran valores positivos significativos de ACE, en tanto 28x1, 25x3, 23x4 y 26x5 con valores negativos. La cruz 25x5, que muestra el mayor valor de ACE, resulta de la participación progenitores con ACG **positivo x negativo**, en tanto 23x1 resulta de ambos progenitores con ACG negativos.

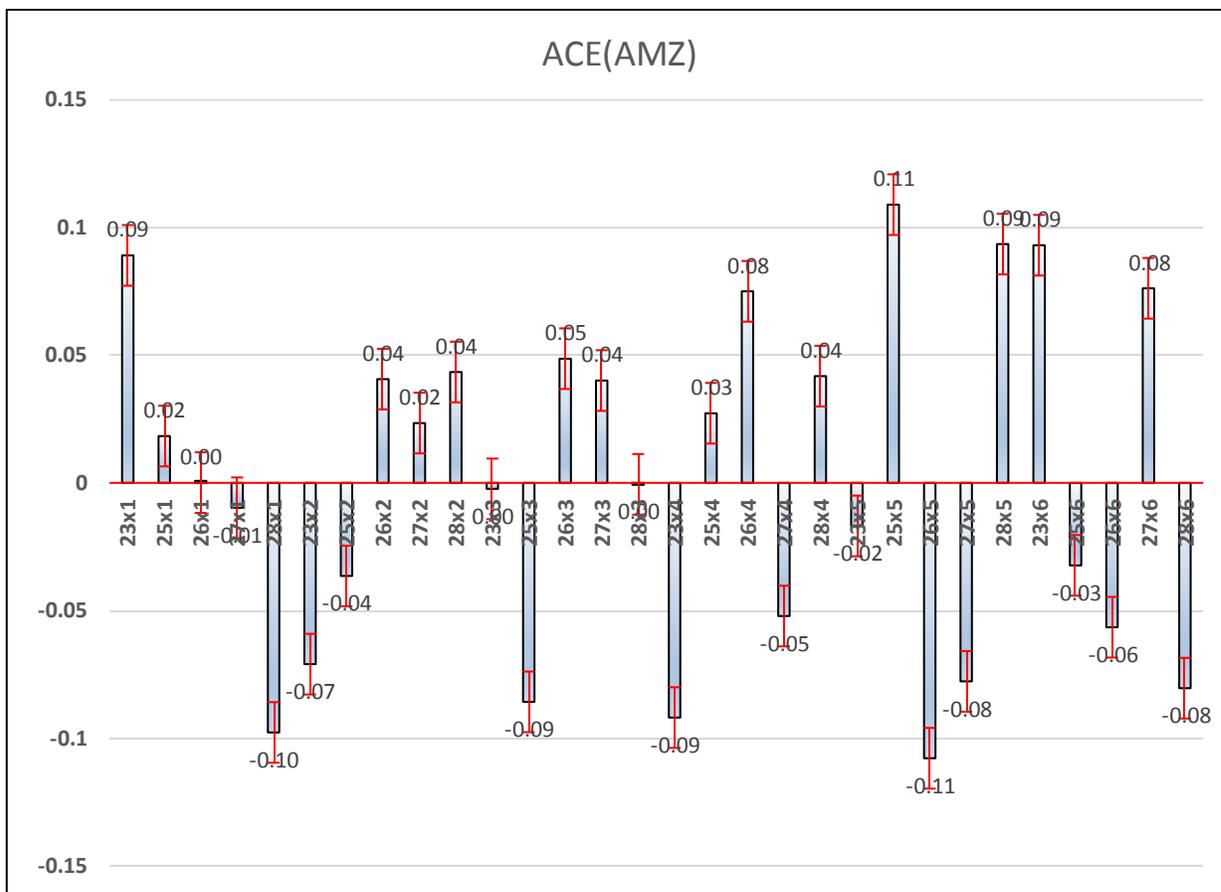


Figura 8. Aptitud Combinatoria Específica para altura de mazorca (AMZ) de 30 cruzas simples evaluadas en CAE-UAAAN-UL. 2017

4.3.9. Aptitud combinatoria general para diámetro de mazorca

La variable DMZ muestra que la línea hembras 26 presenta valores significativos positivos, en tanto, la línea macho 5, presenta ACG positivo y, la línea 6 un valor negativo Figura 9.

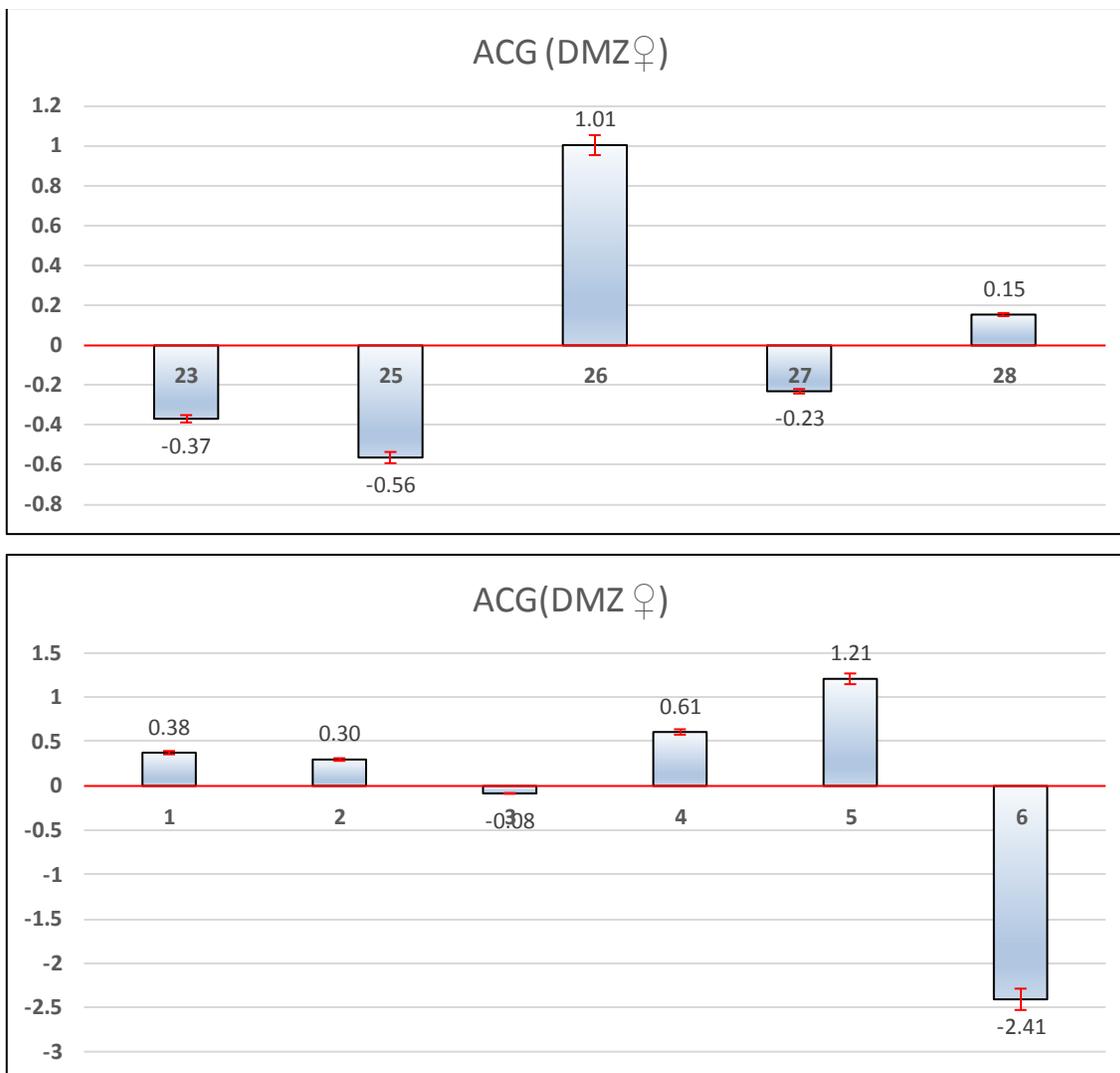


Figura 9. Aptitud combinatoria general de cinco líneas hembras y seis líneas machos para diámetro de mazorca (DMZ).

4.3.10. Aptitud combinatoria específica para diámetro de mazorca

En las cruzas se observan tres valores positivos significativos para la crusa 28x3, 26x2 y 23x5 y, cuatro cruzas 23x3, 28x3, 23x6 y 26x3 con valores negativos significativos. La crusa 28x3 con el mayor valor de ACE, resulta de la crusa de dos líneas con ACG no-significativas, en tanto, que la 26x2 involucra a la línea 26 con el mayor valor significativo positivo de ACG.

La crusa 23x3 con el mayor valor negativo, resulta de la crusa donde ambos progenitores son de ACG negativos.

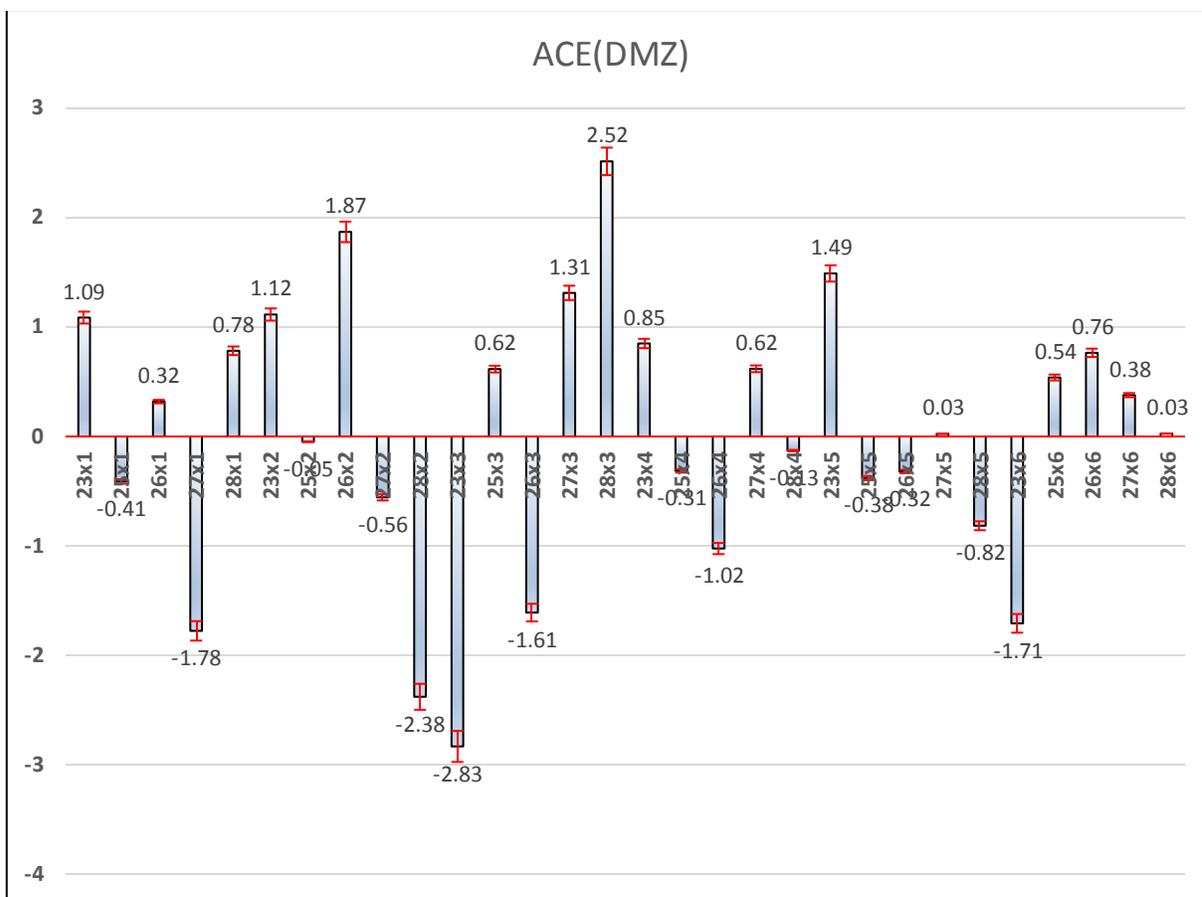


Figura 10. Aptitud Combinatoria Específica para diámetro de mazorca (DMZ) de 30 cruces simples evaluadas en CAE-UAAAN-UL. 2017.

4.3.11. Aptitud combinatoria general para número de hilera

Para el número de hileras (NH), la línea 23 presenta valores de ACG positivos-significativos y, la línea 25 con valores negativos-significativos. En los machos, la línea 1 presenta valor significativo y la 3 valor negativo.

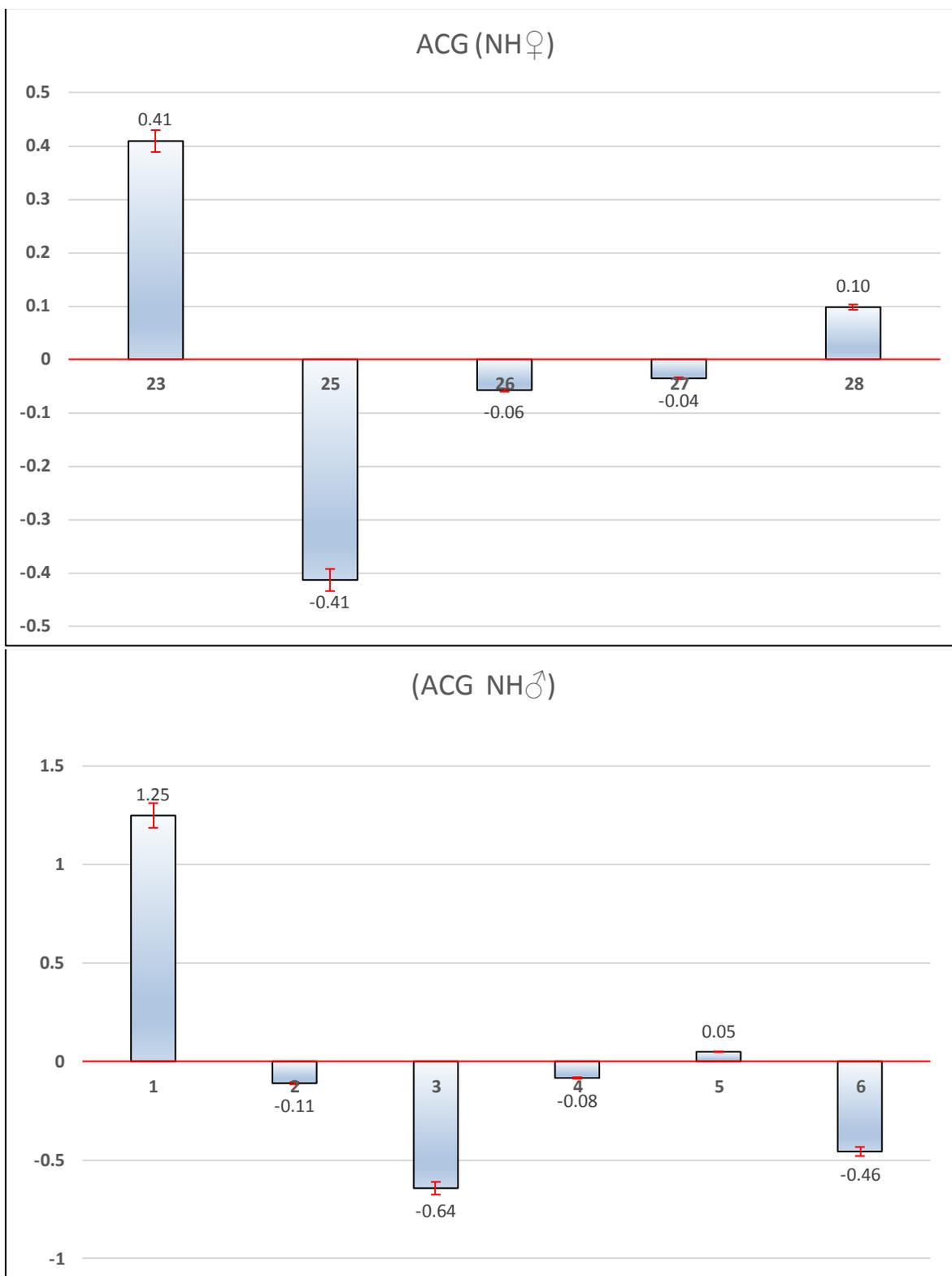


Figura 11 Aptitud combinatoria general de cinco líneas hembras y seis líneas machos para número de hileras (NH).

4.3.12. Aptitud combinatoria específica para el numero de hilera

Tres de las 30 cruzas muestran valores ACE positivos significativos y tres valores negativos significativos. Las cruzas, 23x2, 26x5 y 27x6 expresan un mayor número de hileras, y con menor expresión 25x1, 27x2 y 23x3. La cruz 23x2 con el mayor valor de ACE fue el resultado de la combinación de una línea con ACG **positivo** con otra línea con un valor cercano a cero. La cruz 27x2 con el mayor valor negativo ACE, resulta de la cruz donde ambos progenitores son de ACG **negativo x negativo**.

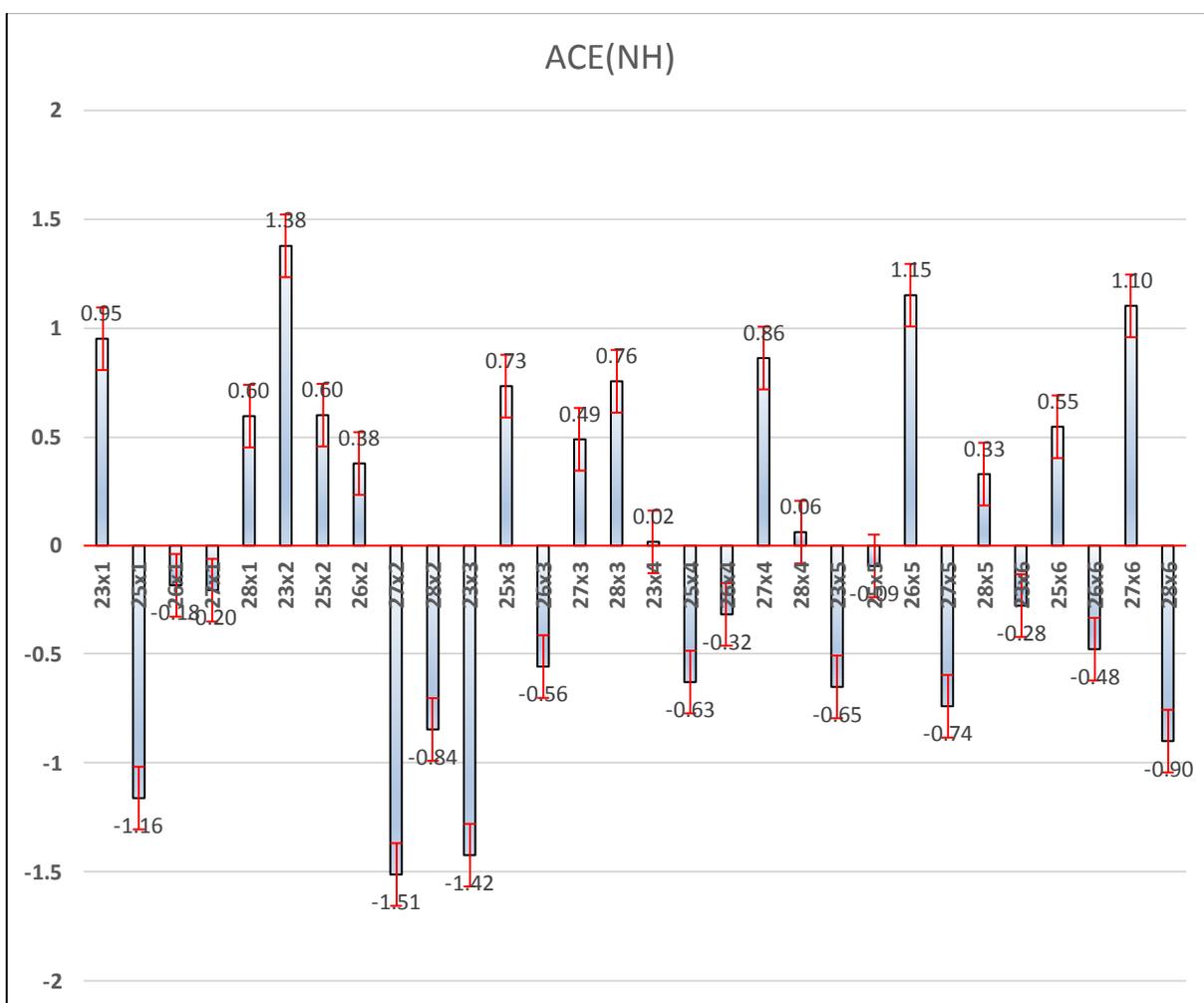
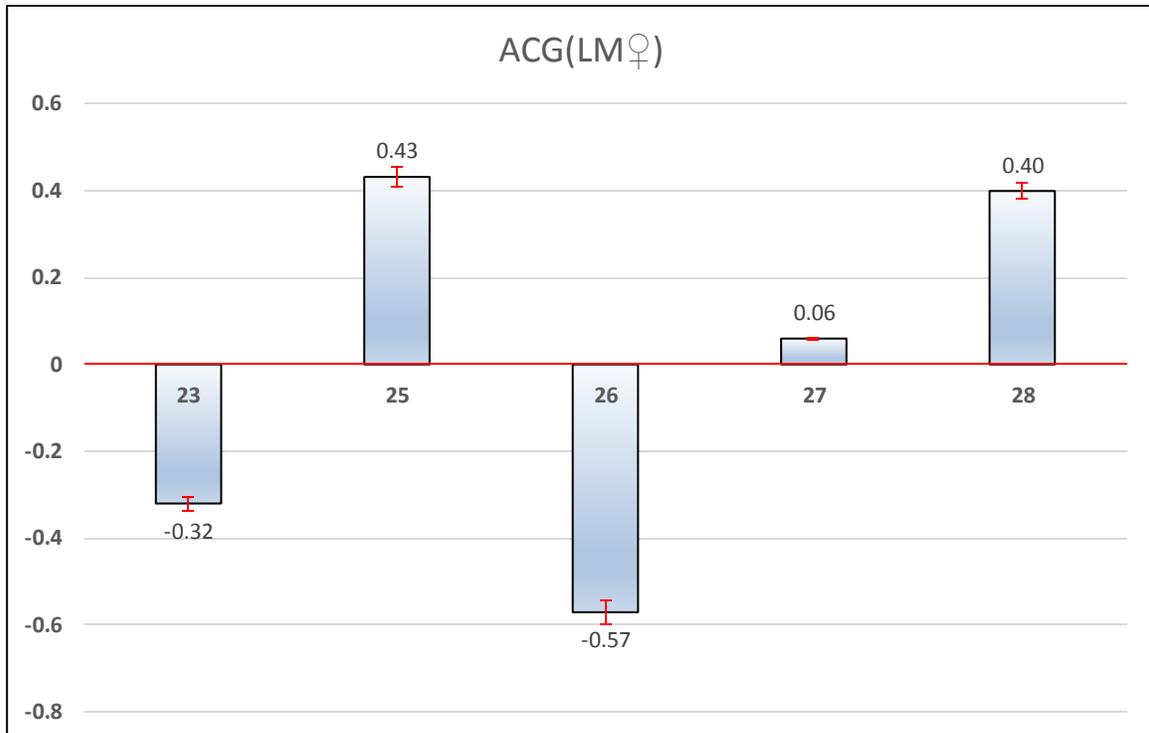


Figura 12. Aptitud Combinatoria Específica para número de hileras(NH) de 30 cruzas simples evaluadas en CAE-UAAAN-UL. 2017.

4.3.13 Aptitud combinatoria general para longitud de mazorca

La ACG para longitud de mazorca (LM) los progenitores 25 y 28 presentan valores significativos-positivos mientras que el progenitor 26 muestra valores significativos negativos. La ACG en machos, la línea 3 muestra valores significativos-positivos, y en las líneas 3 y 4 muestran valores significativos positivos y negativos respectivamente.



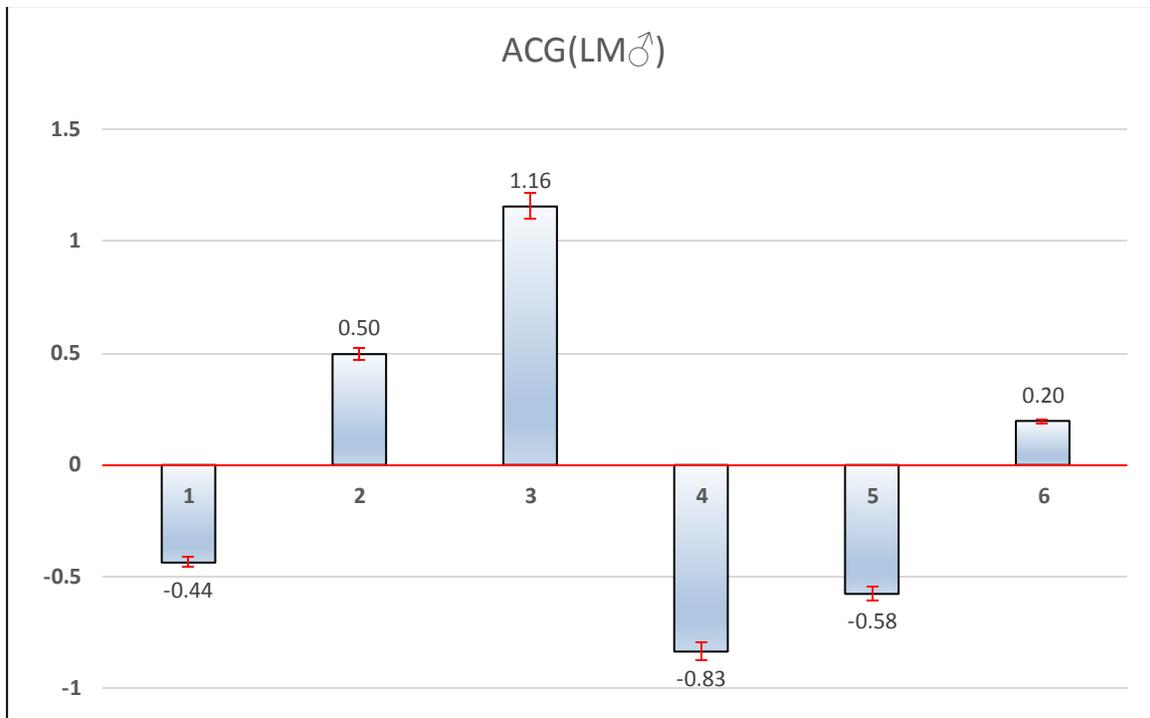


Figura 13. Aptitud combinatoria general de cinco líneas hembras y seis líneas machos para longitud de mazorca (LM)

4.3.14. Aptitud combinatoria específica para longitud de mazorca

En la Figura 14 se muestra la ACE para longitud de mazorca (LM), donde las cruzas con mayor valor significativo de ACE son **26x4**, 23x3 y 25x1. La cruza 26x4 resulta de la combinación con ambos progenitores de ACG negativo, en tanto que la cruza 23x3 es el resultado de la combinación de un progenitor con valores de ACG negativo por positivo y, la cruza 25x1 proviene de positivo por negativo.

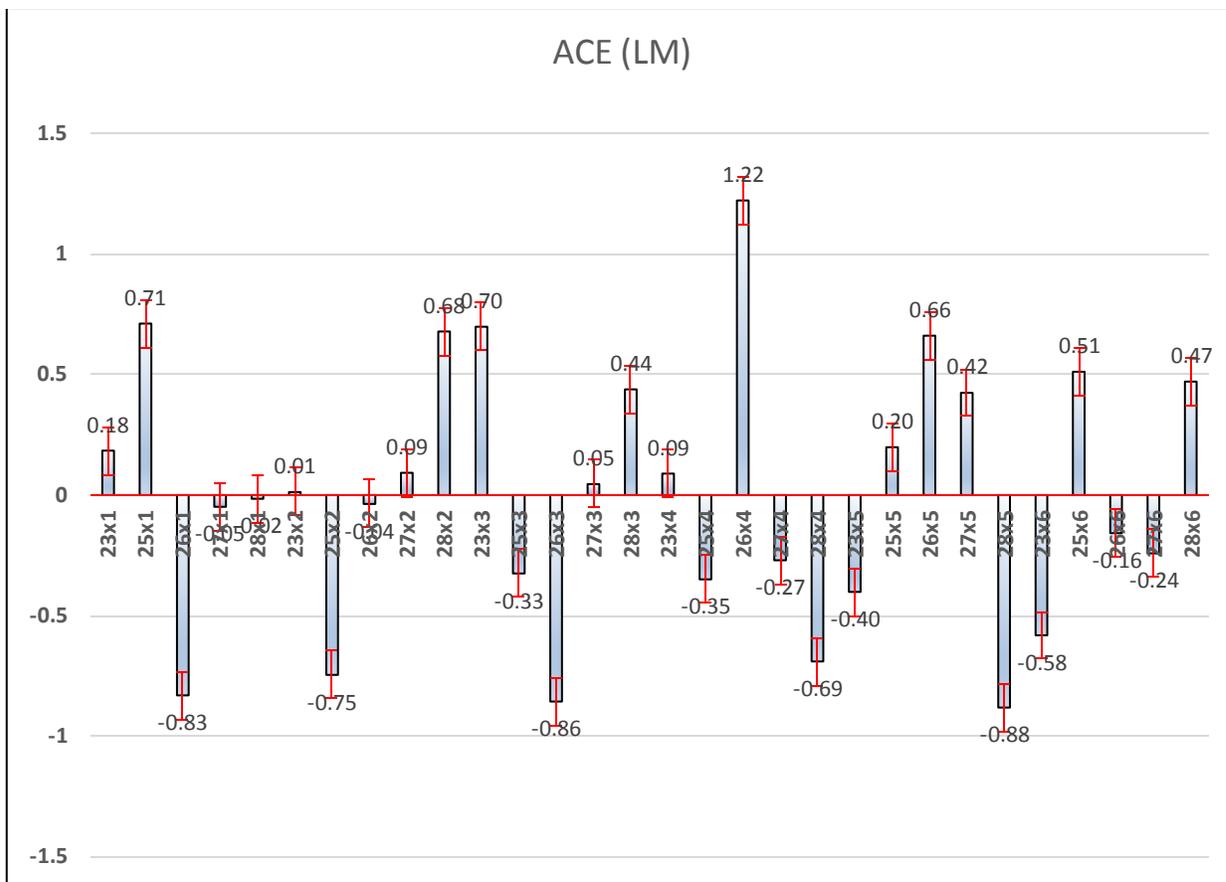


Figura 14. Aptitud Combinatoria Específica para longitud de mazorca (LM) de 30 cruzas simples evaluadas en CAE-UAAAN-UL. 2017

4.3.15 Aptitud combinatoria general para granos por hilera

Para la variable granos por hilera (GH), la línea 28 de las hembras presentó un valor positivo de ACG. En que se refiere a las líneas machos, las líneas 3 y 4 presentaron valores de ACG significativos, positivo para 3 y negativa para la línea.

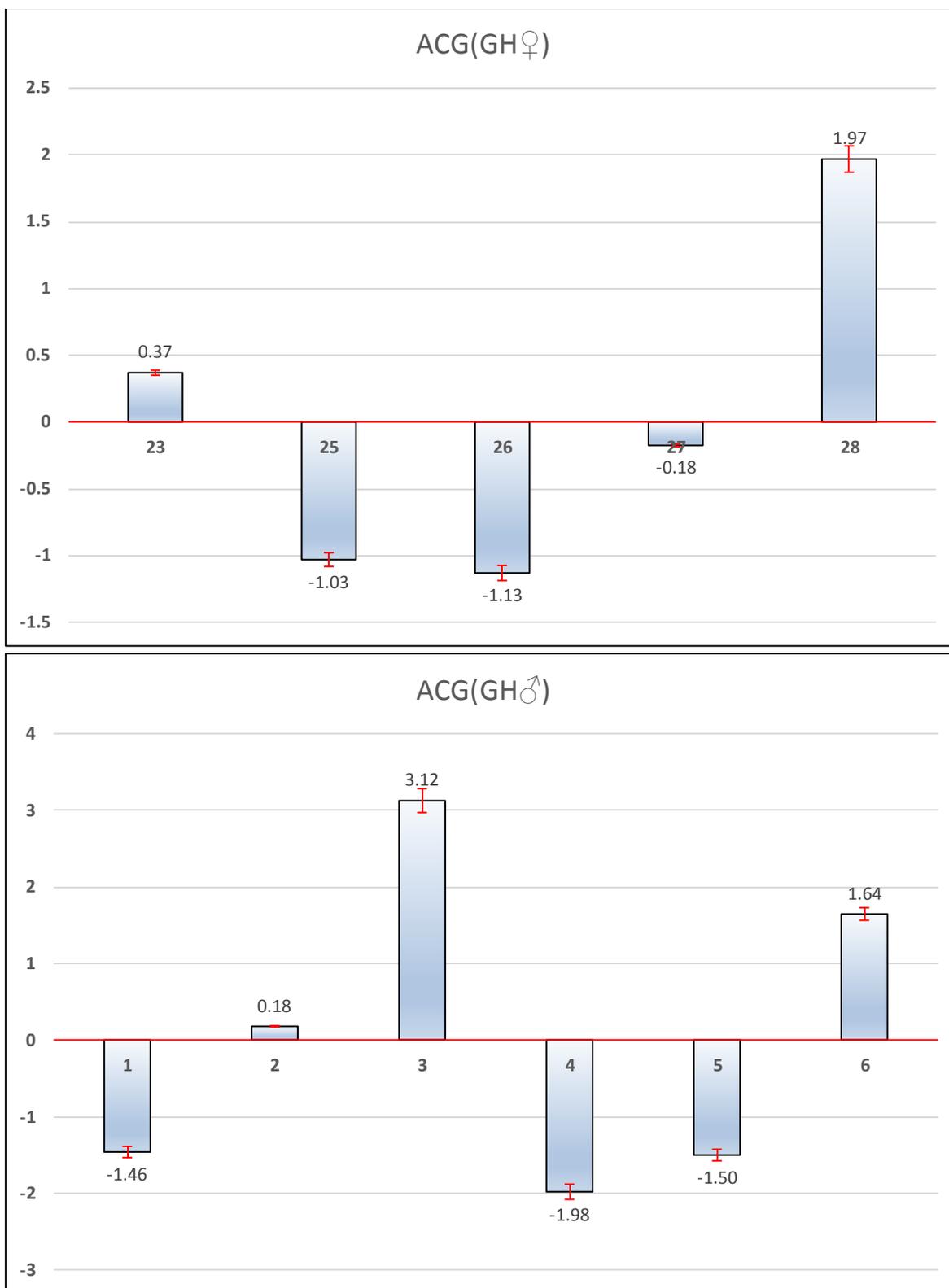


Figura 15 Aptitud combinatoria general de cinco líneas hembras y seis líneas machos para granos por hilera (GH)

4.3.16. Aptitud combinatoria específica para granos por hilera

Las cruzas 23x3, 26x4, 26x5 y 27x5 muestran valores positivos significativos y las cruzas, 28x5, 23x4 y 26x3 con valores negativos significativos. La craza 23x3, que muestra el mayor valor de ACE, proviene de dos progenitores con ACG positivo por positivo y para las cruzas 26x4, 26x5, 27x5, 28x5, 23x4 y 26x3 son de líneas con ACG negativos por negativos.

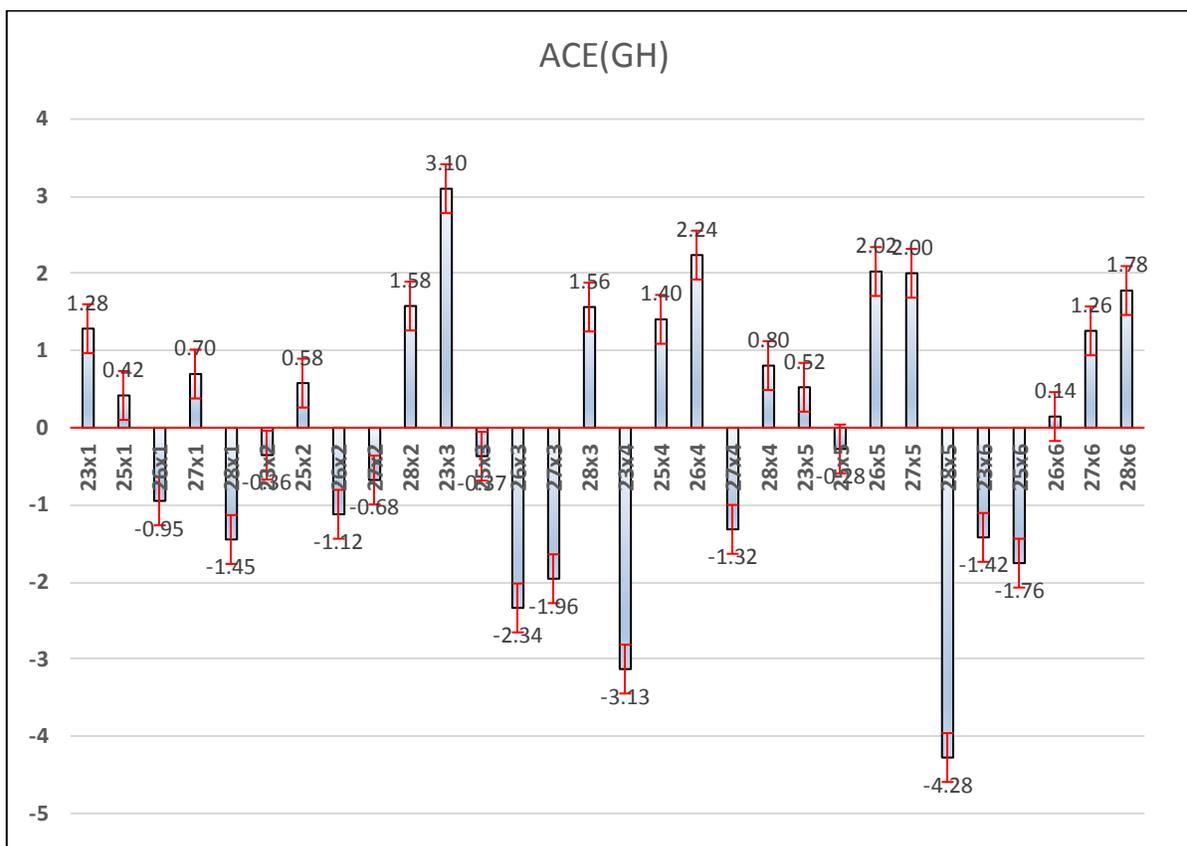


Figura 16 Aptitud Combinatoria Específica para granos por hilera (GH) de 30 cruzas simples evaluadas en CAE-UAAAN-UL. 2017

4.3.17 Aptitud combinatoria general para rendimiento

En la Figura 17 se muestran las líneas con ACG de 5 hembras y 6 machos, donde los progenitores 25 y 28 mostraron mayor valor positivo significativo, mientras que, la 26, mostró valores negativos significativos. Los progenitores machos 3 y 5, mostraron valores significativos-positivos y valores negativos la línea 1.

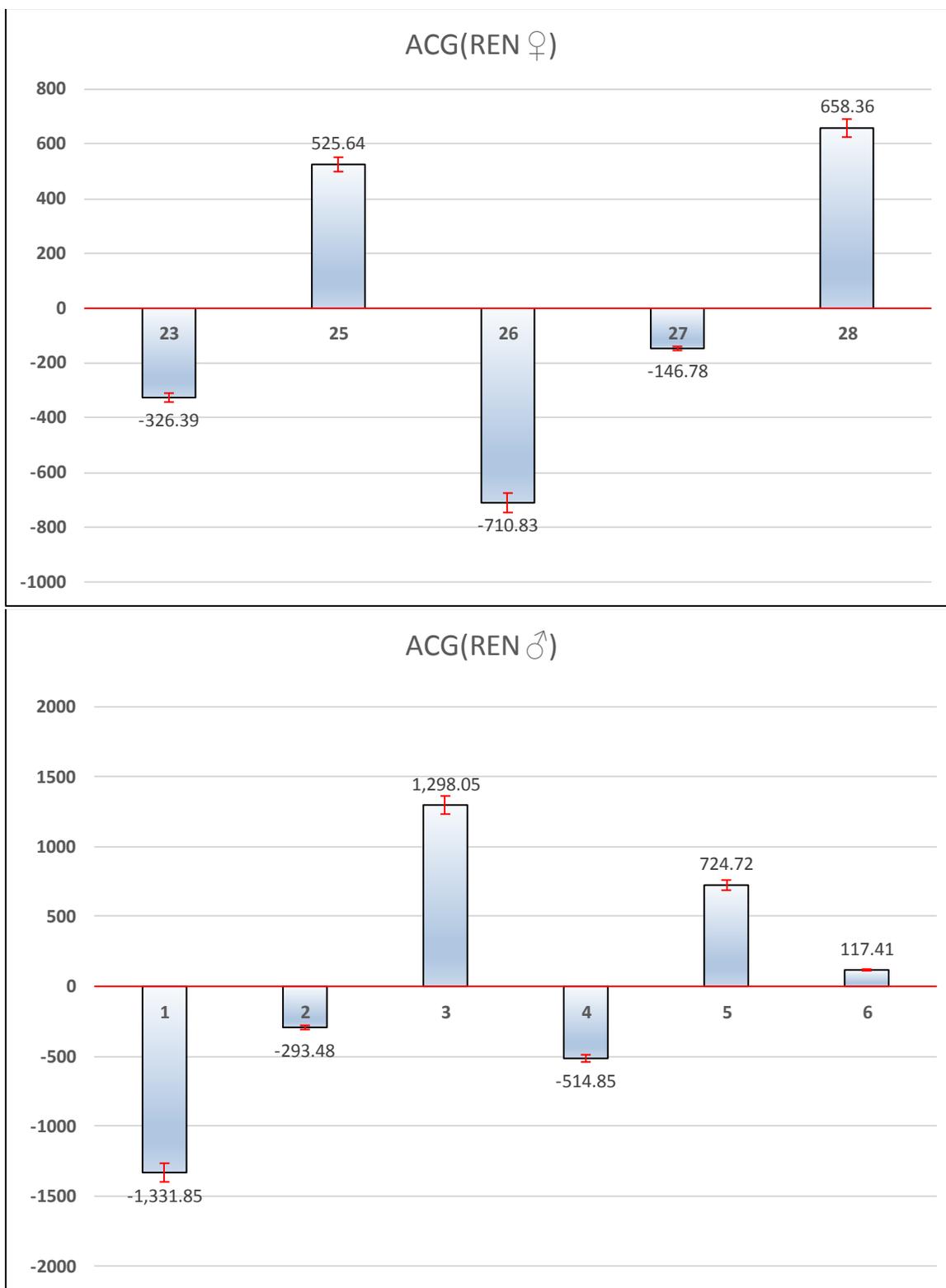


Figura 17. Aptitud combinatoria general de cinco líneas hembras y seis líneas machos para rendimiento de grano (REN).

F

4.3.18. Aptitud combinatoria específica para rendimiento.

Tres cruzas mostraron valores de ACE positivos-significativos y, dos valores negativos significativos. La cruz 28x1 mostro mayor valor positivo significativo donde esta cruz proviene de dos líneas con valores ACG **positivo x negativo**, en cuanto a la cruz 27x2 los progenitores presentaron valores de ACG iguales a cero, mientras que en la cruz 27x3 las líneas son **negativo x positivo**. En la cruz 28x1, participan las líneas AN-78-186 y A-30-01 las cuales provienen de origen diferente. Puesto que la ACE evalúa la acción génica debida a todos los efectos no aditivos, es decir, efectos de dominancia, de epistasis, de interacciones génicas e inclusive la interacción genética-ambiental, y se usa para designar las cruzas que se comportan mucho mejor o peor que lo esperado en virtud del comportamiento de los progenitores.

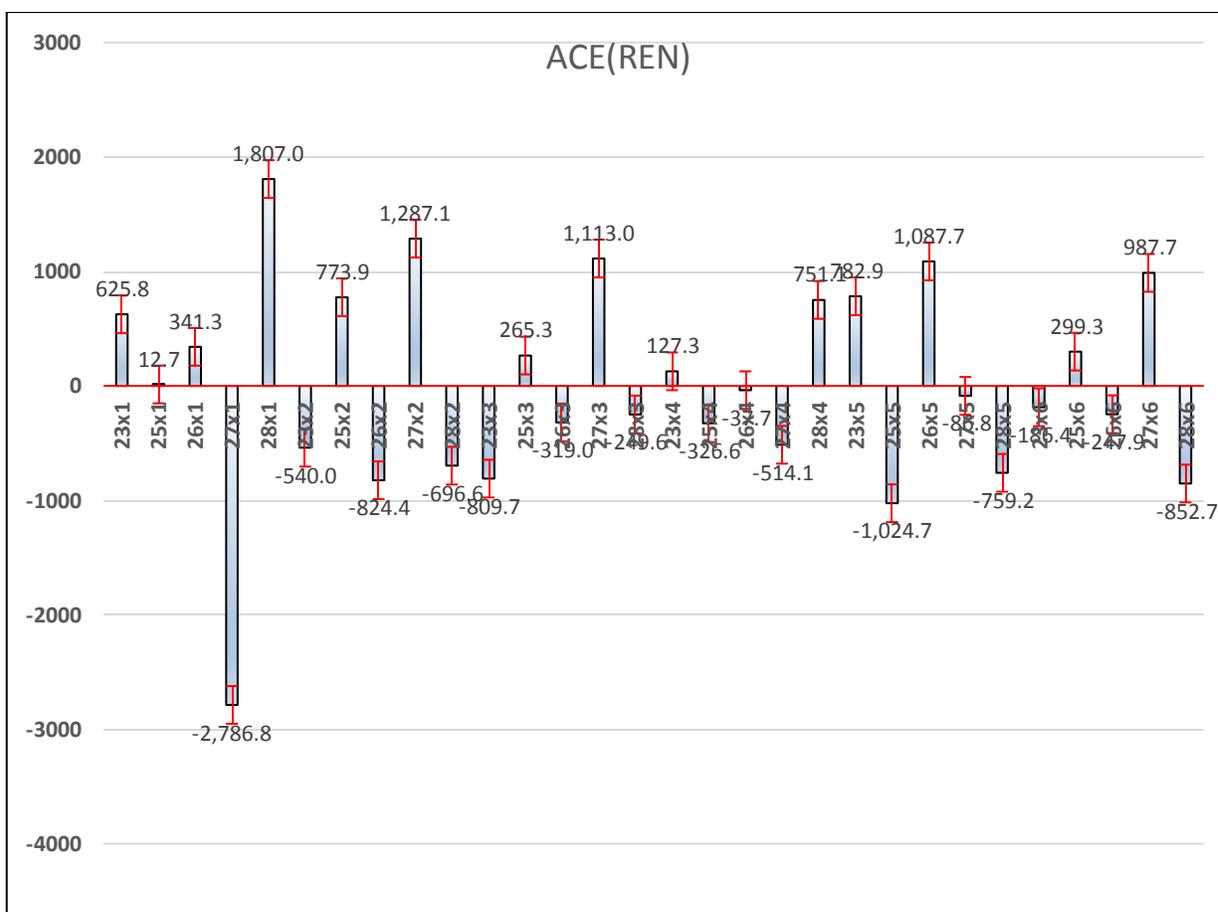


Figura 18 Aptitud Combinatoria Específica para rendimiento de grano (REN) de 30 cruzas simples evaluadas en CAE-UAAAN-UL. 2017

IV. CONCLUSIONES

- El estudio demostró la diversidad genética implícita en las líneas utilizadas como hembras y machos.
- Estas diferencias, quedaron de manifiesto en los diversos valores de **ACG** en las líneas (hembras y machos) y, su impacto en los valores de **ACE** de las cruzas.
- Para la variable rendimiento (REN) la línea 28 que exhibe un valor significativo de **ACG** combinada con la línea 1, con un valor no-significativo, generó el mayor valor de ACE para rendimiento de grano.
- Las cinco cruzas más sobresalientes en REN fueron: 27x 3, 25x3, 28x3, 5x23 y 1x28.

V. BIBLIOGRAFÍA

- Brauer, H. O. 1969. Fitotecnia aplicada. 1er. Edición. Editorial Limusa. México, D.F.
- Castañón, N. G.; Latoumerie, 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.
- 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. pp 210- 223.
- 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, R. E. and Robinson H. F. 1948. The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics* 4: pp. 254-266.
- Davis, R. L. 1927. Report 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 líneas de maíz en la Comarca Lagunera. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 26(4): 279-284.
- Eisenhart, C. 1947. The assumptions underlying analysis of variance. *Biometrics* 3: 1-21
- Gómez, N. M., Valdivia B. R. 1988. Dialélico Integrado con Líneas de Diferentes Programas de Maíz para la Región Cálida. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 11: pp. 103- 120.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- Gutiérrez, 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. and J. B Miranda. 1988. *Quantitative genetics in maize breeding*. 2a. ed Iowa State University Press, Ames, Iowa. USA. P. 45-61.

- Henderson, C.R. 1953 "Estimation of variance and covariance components". *Biometrics*. 9 (2) 226-252.
- Hinkelmann K., Kempthorne, 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 de octubre 2014]].
- Jara, A. A., Goldstain W, Dashiell K (2010) Phenotypic structures and breeding value of open-pollinated corn varietal hybrids. *International Journal of Plant Breeding*. 4: 37-46.
- Jugenheimer, W. R. 1990. Variedades Mejoradas Métodos de Cultivo y Producción de Semilla. Trad. R. Piña. G. Ed. Limusa. Cuarta reimpression. México. P. 841.
- Kempthorne, O. 1957. The correlations between relatives in a random mating population. *Proc. Royal Soc. London, B*. 143: 103-113.
- Martínez, G. A. 1983. Diseños y análisis de experimentos de cruza dialélicas. Segunda edición. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 252.
- Márquez, S. F. 1988. Genotecnia Vegetal. Tomo II. A.G.T. editor, S.A. México. Pp.1-43.
- Morales, I. M. 2001. Comparación de dos diseños genéticos en la estimación de los componentes de varianza en una población de maíz enano. Tesis. Ingeniero agrónomo en producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Coahuila, México. P.23.
- 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. *Rev. Fitotec. Mex*. 28 (4):369–376
- 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 cruza dialélicas, evaluadas en dos localidades de la zona baja de Guatemala. *Agronomiamesoamericana*. 2:24-30.
- Poehlman, M. J. 1947. Mejoramiento genético de las cosechas. 1ª. Ed. Editorial Limusa, S.A. México. p.453.

- Preciado, O. R .E.; Torreón, I. A. D.; Gómez, M. N. O. Y Robledo, G. E. I. 2005. Componentes genéticos en poblaciones heteroticamente contrastantes de maíz de origen tropical y subtropical. *Agron. Mesoam.* 16:145-151.
- Puertas, G. M. 1992. *Genética, Fundamentos y Perspectivas.* Mc Graw- Hill. España. p. 741.
- 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): pp. 453-461.
- Robles, S. R. 1986. *Genética elemental y Fito mejoramiento practico.* Primera edición, Editorial Limusa. México.
- Rodríguez, R. G Alvarado, Á Pacheco, J Crossa, J Burgueño (2015) *AGD-R (Analysis of Genetic Designs with R for Windows) Version 2.0"*. International Maize and Wheat Improvement Center.
- Sprague, G. F. and L. A. Tatum. 1942. General vs Specific combining ability in single crosses of corn. *J. Am. Soc. Agron.* 34: 923 – 932.
- Shull,G. H.1948. What is the heterosis. *Genetics* 439-446