

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Estimación de la Aptitud Combinatoria de Líneas de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) y sus Cruzas Posibles para la Selección de Híbridos

Por:

JORGE CADENAS RAMÍREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Septiembre, 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Estimación de la Aptitud Combinatoria de Líneas de Sorgo (Sorghum bicolor L.
Moench) y sus Cruzas Posibles para la Selección de Híbridos.

Por:

JORGE CADENAS RAMÍREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada

M.C. Luis Ángel Muñoz Romero

Asesor Principal

Ing. Alfredo Fernández Gaytán

Coasesor

Dr. Enrique Navarro Guerrero

Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera

Coordinación
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Septiembre, 2015

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, MI ALMA TERRA MATER, por haberme forjado en su seno y ser un hombre de provecho para mi país, así como al Departamento de Fitomejoramiento por brindarme durante cuatro años toda su sabiduría y darme la oportunidad de superarme académicamente, gracias.

Al M.C Luis Ángel Muñoz Romero, mi asesor, por todos los buenos momentos y por brindarme su amistad y paciencia en todo momento en la realización de este trabajo ya que incondicionalmente siempre me brindó su apoyo, además de los conocimientos, sugerencias y puntos de vista en la elaboración de la investigación.

Al Ing. Alfredo por brindarme ese apoyo incondicional, ya que es un buen amigo y gracias por compartir conmigo toda su sabiduría, gracias.

A la M.C Alejandra Torres Tapia por ser mi tutora por cuatro años gracias por su apoyo y sus consejos.

A todos los maestros y profesores de la universidad por haber sido parte de mi formación académica y personal les brindo mi mayor gratitud y reconocimiento por desempeñar una función tan humana como lo es formar miles de profesionistas, los cuales estoy seguro que al igual que Yo les agradecen por todo lo que nos han brindado y que tienen como objetivo transmitir cada día sus conocimientos a los alumnos. Gracias.

DEDICATORIA

A ti, mi dios, por ser el dador de mi vida por darme la oportunidad desde la concepción y alumbrar mis pasos en cada etapa de mi vida, gracias por darme la salud y la oportunidad de concluir este el más grande de mis sueños junto con mis padres y familiares.

Quiero dedicar este trabajo, que representa el último esfuerzo de esta carrera, a las personas más importante de mi vida, mis padres quienes cuyos esfuerzos han hecho posible este logro, el cual no es mío, si no en realidad suyos. Gracias por todo el apoyo que me brindaron, pero sobre todo por haberme ayudado a formar poco a poco lo que hoy soy.

Con, mucho amor y cariño les dedico mi trabajo, fruto del esfuerzo y del trabajo que en mi cautivaron, los quiero mucho. Gracias con todo mi corazón, gracias por ser como son:

Columba Ramírez Méndez

Y

Urbano Cadenas Neri

A mis hermanos

Alicia

Ramón

Oscar

Edith

Quienes me brindaron su apoyo en todo momento, y que nunca me dejaron solo, a ellos que darían cualquier cosa por verme feliz, gracias hermanos nunca podre pagar tanto cariño y amor que me han brindado, les dedico cada esfuerzo, cada sacrificio mío porque se merecen eso y mucho más.

A mis sobrinos:

Ingrid

Omar

Angelito

Brando

Sonia

Kevin

Christopher

Ellos que dan alegría en la casa a ellos que son el futuro de la familia y la generación que nos llenara de satisfacciones.

Correo electrónico; Jorge Cadenas Ramírez, jorgecadenasr@hotmail.com

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE DE CUADROS	i
INTRODUCCIÓN	1
Importancia mundial del sorgo.....	1
Importancia Nacional	2
Origen del sorgo hibrido	3
OBJETIVOS	6
HIPÓTESIS	6
REVISIÓN DE LITERATURA	7
Formación de híbridos.....	7
Hibrido e hibridación.....	9
El vigor hibrido y su uso en el cultivo del sorgo.....	9
Heredabilidad	13
Interacción Genotipo Ambiente	15
Diseños genéticos	17
Diseños dialelicos de griffing	18
Diseños de Carolina del Norte.....	19
Aptitud Combinatoria General y Específica	24
MATERIALES Y MÉTODOS	29
Descripción de localidades	29
Material genético	29
Establecimiento y manejo del experimento	30
Siembra	30
Fertilización	30
Labores culturales	30
Riegos	30
Obtención de cruzas.....	31

Toma de datos de las variables	32
Altura de planta.....	32
Tamaño de panoja	32
Rendimiento.....	33
Diseño experimental	33
Análisis de varianza	33
El coeficiente de variación	34
Comparación de medias.....	34
Análisis estadístico	34
Estimaciones de aptitud combinatoria	37
RESULTADOS Y DISCUSION	39
Efecto de aptitud combinatoria general	46
Aptitud Combinatoria Específica.....	49
CONCLUSIÓN.....	52
RESUMEN.....	53
LITERATURA CITADA	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Material Genético	29
Cuadro 1.1 Listado de cruzas y testigo	32
Cuadro 1.2. Análisis de varianza	33
Cuadro 1.3 Para los diferentes caracteres estudiados se realizó un análisis de varianza para la localidad de General Cepeda con base en el diseño ii de carolina del norte.	36
Cuadro 2. Análisis de varianza para las variables de altura de planta, longitud de panoja y rendimiento.	39
Cuadro 2.1 D.M.S para la variable rendimiento de grano.	40
Cuadro 2.2 D.M.S para la variable longitud de panoja.....	42
Cuadro 2.3 D.M.S para la variable altura de planta	44
Cuadro 2.4. Cuadrados medios del análisis de varianza diseño II de C.N. para rendimiento de grano en Ton ha ⁻¹ y otros caracteres	46
Cuadro 2.5 Aptitud Combinatoria General para las variables de estudio.....	47
Cuadro 2.6. Aptitud Combinatoria Especifica para rendimiento.....	50
Cuadro 2.7. Aptitud Combinatoria Especifica para tamaño de panoja.....	50
Cuadro 2.8 Aptitud Combinatoria Especifica para altura de planta.....	51

INTRODUCCIÓN

El cultivo de sorgo en nuestro país tiene un gran potencial debido a su gran adaptabilidad a las diferentes condiciones ecológicas, pudiéndose cultivar desde el nivel de mar, tanto en trópicos húmedos como en trópicos secos hasta altitudes de 1850 m.s.n.m presenta algunas ventajas sobre otros cultivos como el maíz debido a que posee características que le permiten ser adoptado por los productores.

El mejoramiento genético del sorgo tiene como finalidad principal incrementar el rendimiento, así como también mejorar una serie de caracteres de interés agronómico, tales como: precocidad, altura de la planta, resistencia al acame, tamaño de panoja entre otras.

Importancia mundial del sorgo

En el periodo comprendido entre 1987 y 2006, el promedio anual de la producción mundial de grano de sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) fue de 60.5 millones de toneladas. El 69% de esa producción se concentró, en orden de importancia, en Estados Unidos de América (EUA), India, Nigeria, México y China. En promedio, México participa con 9.12% de la producción mundial y ocupa el cuarto lugar en producción anual (5.52 millones de toneladas), así como el quinto lugar en rendimiento (3.24 t/ha); en una superficie de 1.69 millones de hectáreas. Para satisfacer los requerimientos de grano demandados principalmente por la industria de alimentos balanceados, durante

esos 20 años México importó el 49% de sus necesidades, con un promedio de 3.16 millones de toneladas, provenientes de EUA, que lo ubican, como el primer importador mundial pues fue el tercer país consumidor después de EUA e India (CNA, 1993; Galarza et al., 2003; SAGARPA 2005,2007; ASERCA, 2007).

Importancia Nacional

En la agricultura de México, durante el mismo periodo, el sorgo destaca en segundo lugar de producción entre los 10 principales granos básicos, después del maíz (Zea mays L.) y en tercer lugar con respecto a la superficie cosechada, después de maíz y frijol (Phaseolus vulgaris L.). Su rentabilidad es superior a la de esos dos cultivos, pues su rendimiento medio nacional supera al de ambos en 38% y 414% respectivamente (CNA, 1993; Galarza et al., 2003; SAGARPA 2005,2007; ASERCA, 2007).

El sorgo es considerado por los productores pecuarios como sustituto del maíz para usos forrajeros, ya que se destina a la preparación de alimentos balanceados, como alimento directo para aves, cerdos y bovinos; como fuente de materia prima para obtener harinas de almidón y aceites; en menor proporción como rastrojo para la alimentación bovina y equina. En el periodo de 1987 a 2012, el 85% de la producción nacional de grano de sorgo se ha obtenido en solo cinco estados que en orden de importancia son: Tamaulipas, Guanajuato, Michoacán, Jalisco y Sinaloa. (CNA, 1993; Galarza et al., 2003), donde aproximadamente el 95% se siembra con semilla comercializada por compañías privadas, las cuales distribuyen híbridos que aunque han resultado “adaptados” a las condiciones ecológicas de las principales áreas sorgueras, no han sido específicamente seleccionados para satisfacer las necesidades de los productores ni las de los consumidores (Mendoza, 1988). Esta problemática crece ante la liquidación de la productora nacional de semillas y mientras no se

instituya un organismo impulsor de un sistema nacional de protección, preservación, regulación y fomento de la producción de semillas.

Es necesario y urgente aumentar la producción y productividad de grano de este cereal a través de la aplicación de la frontera agrícola, por ejemplo, cultivando en regiones frías; o mediante la mejora del rendimiento y de las prácticas agrícolas. Varias instituciones realizan investigación encaminada a formar híbridos y variedades de sorgo que superen el rendimiento de grano por hectárea y que posean mejores características agronómicas de los materiales existentes; además, que satisfagan la demanda y simultáneamente que sirvan como una alternativa para aquellas regiones donde otros cultivos tienen problemas con la fluctuación de las condiciones ambientales, como las lluvias y la temperatura en las zonas de agricultura de secano (temporal).

Origen del sorgo híbrido

En 1908, H Willis Smith, un granjero de Kansas, hizo selecciones de una craza natural entre milo x Kafir Blackhull; en 1911, sembró surcos de esa craza para obtener líneas uniformes, de las cuales desarrolló sorgos de porte tan bajo como para cosecharse con una espigadora de trigo, y nombró a una de sus variedades *Kafir buff* (Quinby, 1974; Martin 1975). El responsable del programa de sorgo del departamento de agricultura de EUA (H. N. Vinall), vio los trabajos de mejoramiento del Sr Smith e inicio un programa de mejoramiento en 1914. Entre las cruzas que hizo estuvo Feterita x Kafir Blackhull. Los agricultores ya pudieron emplear esas variedades, muy resistentes a la sequía y de rendimiento superior. Estas fueron las primeras variedades obtenidas de las cruzas artificiales entre dos variedades de sorgo. Las técnicas de Vinall y Cron para seleccionar la progenie en surcos fueron muy usadas en los años siguientes.

En la planta de sorgo cada florecilla contiene a los órganos de reproducción de ambos sexos. Durante muchos años el problema para utilizar sorgo híbrido fue la falta de métodos rápidos y de bajo costo para efectuar las cruces (Poehlman, 1965). Hasta 1932, la semilla híbrida solo podía obtenerse después de una laboriosa emasculación manual (Quinby, 1974), por lo que fue necesario producir tipos androesteriles. J.C. Stephens inició investigaciones sobre sorgos híbridos en 1929, cuando descubrió en el pasto sudan una línea sin anteras.

El esquema para usar la androesterilidad genética en la producción comercial de semilla híbrida implicaba que la mitad de las espigas producía flores masculinas fértiles, por lo que era necesario eliminarlas antes de la polinización; esta operación elevaba tanto el costo de la producción de semillas que la hacía incosteable, el siguiente procedimiento se basó en la utilización del material genético androestéril obtenido de la variedad Day, en 1943, por Glen H. Kuykendall (Poehlman, 1965; Quinby, 1974).

Apenas se había iniciado la producción comercial de sorgos híbridos, utilizando el carácter de esterilidad de la variedad Day, cuando Stephens y Holland, en 1952, descubrieron la androesterilidad citoplásmica, que permitió explotar la heterosis y producir semilla híbrida en forma práctica y a bajo costo. EUA, en 1957 sembró con híbridos el 15% de la superficie dedicada a este cultivo y para 1960 el 95%. La superficie dedicada a maíz en EUA necesitó 20 años para ser cubierta por el maíz híbrido; mientras el sorgo híbrido cubrió su respectiva superficie en solo 4 años tan pronto hubo semilla híbrida disponible (Quinby, 1974). En 1956, cuando los híbridos no se empleaban en gran escala, el rendimiento promedio en EUA era 1400 kg ha^{-1} y para 1965 alcanzaba 3182 kg ha^{-1} se considera que la heterosis es responsable de 20 a 40% de ese aumento, y el resto corresponde a un mejor manejo del cultivo, pues los

agricultores utilizaron sistemas de riego y abonos en esos cultivos para mayor rendimiento (Quinby y Schertz, 1975).

Todo programa de mejoramiento genético utiliza diferentes métodos de selección de progenitores para la formación de materiales híbridos, buscando las mejores combinaciones que puedan ser utilizadas a nivel comercial, o bien que sirvan como progenitores par la formación de poblaciones superiores propiciando su recombinación.

El éxito en cualquier programa genético, con énfasis en el desarrollo de líneas endocriadas para la formación de híbridos, dependerá de la elección del germoplasma base a considerarse dentro del programa de mejoramientos (Wong et al. 2006). Líneas autofecundadas de diferente origen permite explotar la gran diversidad genética presente en el maíz, manejando adecuadamente este material se puede incrementar la respuesta heterótica entre ellas (De León et al. 2006).

Durante los últimos años el Programa de Sorgo de la UAAAN, ha venido trabajando en la obtención de líneas a partir de poblaciones, mismas que han sido utilizadas para la formación de híbridos experimentales utilizando para ello diseños dialélicos (Giffing, 1956; Comstock, y Robinson, 1949), lo que ha permitido seleccionar líneas de buen rendimiento y buena aptitud combinatoria.

OBJETIVOS

- Evaluar el comportamiento de los híbridos de cruza simple, formadas con líneas endocriadas, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Estimar los efectos de aptitud combinatoria general y específica, de líneas y cruza respectivamente.
- Determinar que híbridos pueden ser explotados a nivel comercial.

HIPÓTESIS

- De todos los híbridos evaluados, algunos superan o igualan al testigo comercial.
- Existen líneas que presentan buena ACG y que pueden ser incluidas en poblaciones.
- Existen progenitores hembras y machos que explotan la varianza aditiva entre ellos, y el máximo efecto de ACE.

REVISIÓN DE LITERATURA

Formación de híbridos

Para la formación de híbridos en lo que respecta al sorgo se requieren tres tipos de líneas puras las cuales se definen a continuación:

Línea pura. En mejoramiento de plantas es un grupo de individuos genéticamente homocigotos, como resultado de la endocria, o autofecundaciones sucesivas.

Línea A. Es aquella línea que contiene genes de androesterilidad genética con citoplasma estéril, su genotipo es $ms\ ms\ S$.

Línea B. es aquella línea que contiene genes de androesterilidad genética pero con citoplasma fértil, es mantenedora de la línea A, su genotipo es $ms\ ms\ N$.

Línea R. es aquella línea que contiene genes restauradores de la fertilidad, no importando su citoplasma, su genotipo $M_S\ M_S$.

Los híbridos aparecen por el año 1900, mediante la formación de líneas endocriadas allard 1960, realizo autofecundaciones, que dieron origen a la

formación de líneas puras, que al cruzarlas entre ellas dieron como resultado híbridos simples los que a su vez presentaban excelente apariencia con excelentes rendimientos, pero tenía una desventaja; era muy costosa producir semillas híbridas, debido a que las líneas puras producen poco rendimiento.

Brauer (1980), menciona que una línea es un individuo autógamo, el cual se produce mediante semilla, conservando sus caracteres hereditarios idénticos de una generación a otra, así como entre las plantas de la misma generación. Esta igualdad hereditaria cuando las plantas se producen a través de semilla, es una manifestación de homocigosis, es decir, que todas las plantas tienen una composición genética idéntica, y los gametos que en ellas se forman son también genéticamente idénticas entre sí.

Márquez (1988), menciona a la línea pura como la progenie de un individuo en el momento que este se considera homocigótico, de manera que de esta generación en adelante, los individuos reproductores pueden ser tantos como sea posible y deseable. Para llegar a una línea pura se necesitan de cuatro a siete generaciones de autofecundación partiendo de una población heterogénea - heterocigótica.

Robles (1990), define la línea pura como un individuo que contiene los mismos genes homocigotos para el o los caracteres favorables que se desean establecer o mejorar. En especies autogamas, teóricamente cada planta seleccionada puede constituir una línea pura si se multiplican sus semillas.

Hibrido e hibridación

Chávez (1995), menciona que la hibridación es el acto de fecundar los gametos femeninos de un individuo con gametos masculinos procedentes de otro individuo.

Robles (1990), menciona que un híbrido es la generación F1 de la cruce entre dos progenitores genéticamente diferentes, que pueden ser líneas puras, variedades, razas, especies.

Márquez (1988), define la hibridación como método genotécnico en las plantas, por lo que lo entendemos como el aprovechamiento de la generación F1 proveniente del cruzamiento entre dos poblaciones. Las poblaciones pueden ser por lo tanto, líneas endogámicas, variedades de polinización libre, variedades sintéticas o también las poblaciones F1 de las mismas.

Reyes (1985), menciona que un híbrido es un individuo que resulta de la cruce entre dos individuos que son genéticamente diferentes dentro de la misma especie o de distintas especies.

El vigor híbrido y su uso en el cultivo del sorgo

La heterosis es el fenómeno en virtud del cual la cruce entre dos razas, dos variedades, dos líneas, etc. Produce un híbrido que es superior a los progenitores, en tamaño, rendimiento, o vigor general.

Allard (1980), menciona que la heterosis es el vigor híbrido, tal que un híbrido F1 debe caer fuera del intervalo de sus progenitores con respecto a una o varias características.

Jones (1918), realizó las primeras cruzas dobles para contrarrestar los problemas de producción de semilla híbrida. De esta manera se aumentó la producción de semilla de varios cultivos.

Los estudios sobre heterosis se iniciaron organizada y completamente casi desde principios de este siglo, en maíz (East y Jones, 1919). Se puede decir en general que la heterosis puede manifestarse tanto en plantas alogamas como autogamas (Aston, 1946).

Flores (1982), menciona que heterosis en genotecnia es la manifestación de vigor o manifestación de los caracteres de sus progenitores, pudiendo ser estos de cruzas entre líneas puras, cruzas intervarietales y cruzas intervarietales o de cruzas interespecíficas.

Falconer (1980), señala que al cruzar líneas endogámicas la progenie muestra un incremento en los caracteres que previamente sufrieron reducción por la endogamia.

Gardner (1982), menciona que los efectos de heterosis sirven como indicadores de la diversidad genética que presentan los materiales bajo evaluación y proporcionan las bases para la elección y formación de fuentes fenoplasmáticas para formar una sola fuente germoplasmática, se puede escoger aquellos progenitores que proporcionen una medida de expresión alta, gran variabilidad genética y altas ganancias esperadas al practicar la selección recurrente. Para formar dos fuentes germoplasmáticas con el propósito de

aplicar selección recíproca recurrente es importante escoger los progenitores que exhiban las medidas altas, máxima heterosis interpoblacional y altas ganancias en este tipo de selección.

Menchaca (1992), menciona que la heterosis o vigor híbrido es un fenómeno opuesto a la consanguinidad o depresión endogámica, el cual se manifiesta en la F1 como aumento en el rendimiento y en caracteres agronómicos producto de la hibridación; esto será mayor mientras más grande sea la diversidad genética de los progenitores, hasta cierto punto, pues existe un óptimo en dicha diversidad genética.

Reyes (1985), menciona que la heterosis es un fenómeno en virtud del cual la cruce F1 entre dos razas, dos variedades, dos líneas, etc. Produce un híbrido que es superior en tamaño, rendimiento o vigor general. La heterosis es mayor en la F1 y los individuos presentan una uniformidad similar a los progenitores cuando estos son homocigotos no relacionados, es decir, genéticamente diferentes. Lo anterior que los individuos de la F1 tiene el mismo genotipo y la variación que se manifieste será ambiental. En la generación F2 la manifestación del vigor disminuye y la variación es alta, debido a segregación, tanto para los genes que determinan caracteres cuantitativos, como para aquellos que determinan caracteres cualitativos. La variación observada obedece, por lo tanto, a causas genéticas y causas del medio ambiente para cada uno de los individuos que integran la población F2.

Robles (1990), menciona que heterosis en genotecnia es la manipulación de vigor de un híbrido en relación con el vigor o manifestación de los caracteres de sus progenitores; pudiendo ser estos de cruces entre líneas puras, cruces intervarietales, cruces interraciales o de cruces interespecíficas.

Davenport (1908) propuso la hipótesis de la dominancia o de los genes ligados; que es la hipótesis genética más aceptada para explicar la depresión producida por la consanguinidad y el fenómeno inverso del vigor híbrido; comienza como la suposición de que las especies alogamas están compuestas por un gran número de individuos genéticamente diferentes, muchos de los cuales llevan genes recesivos perjudiciales ocultos en los heterocigotos, que al autofecundarse aumenta la homocigosis, que al autofecundarse aumenta la homocigosis apareciendo varios tipos degenerados homocigotos recesivos.

Shull y East (1908), proponen una explicación de la heterosis en términos de la superioridad de los genotipos heterocigóticos en relación con los genotipos homocigóticos; esta es la hipótesis de la súper dominancia; el fallo en la consecución de líneas heteróticas puras reposa en la asociación entre heterosis y heterocigosis. Por ser la F1 heterocigótica al máximo, los posteriores cruzamientos consanguíneos dan lugar a cepas homocigóticas con eficiencia biológica y productividad inferiores.

Según Poehlman (1979), en los híbridos de sorgo se ha observado un extremado vigor, con frecuencia se han visto plantas híbridas muy altas o de crecimiento muy vigoroso.

Grafius (1959), considera que la dominancia y epistasis son mecanismos capaces de producir heterosis al no ser mutuamente exclusivas, pero de las dos, la epistasis parece ser de mayor importancia en cebada, por lo tanto, concluye que el vigor de la F1 para rendimiento se debe a epistasis.

Stephens y Quinby (1952), encontraron que para la producción de híbridos de sorgo, los híbridos obtenidos no fueron ideales, pero se pueden

aceptar como una combinación temprana, excediendo a los progenitores en amacollamiento y en porcentaje de trilla, pero fueron intermedios en peso, madurez, acame, color de la semilla, resistencia a plagas y enfermedades.

La heterosis es considerada como un fenómeno genético, donde se expresa al máximo el vigor con respecto a sus progenitores, puede definirse como el incremento en tamaño o vigor de un híbrido, con respecto al promedio de sus progenitores, medido a través de indicadores como: resistencia a insectos y enfermedades, rendimiento, y altura de planta y mazorca (Allard, 1960; Poehlman, 1981).

Las bases genéticas de la heterosis son motivo de polémica, que se puede explicar de dos formas. La teoría de la dominancia supone que el vigor de un híbrido es el resultado de la acción e interacción de factores dominantes de adaptabilidad y crecimiento. Por otro lado, la teoría de la sobre dominancia supone que un individuo que es heterocigote produce mayor vigor híbrido (Stanfield, 1978).

Heredabilidad

En genética cuantitativa la herencia de los caracteres se expresa fenotípicamente, como variación continua y gradual. Así, en una población suficiente grande, de individuos segregantes para un carácter como rendimiento, clasificados por su productividad de menor a mayor, observaremos por lo general una curva de distribución normal.

La heredabilidad es un parámetro que expresa la proporción de la varianza total que es atribuible a los efectos promedios de los genes y esto

determina en parte el grado del apareamiento entre parientes. La función más importante de la heredabilidad en el estudio genético de los caracteres métricos, es la expresar la confiabilidad del valor fenotípico, como indicador del valor reproductivo; y es el valor reproductivo de un individuo lo que determina su influencia en la siguiente generación.

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

Otra definición de heredabilidad, es el coeficiente de regresión del valor reproductivo sobre el valor fenotípico (Falconer, 1983).

Estas dos definiciones corresponden a la heredabilidad en el sentido estrecho, por los tratados de genética estadística. Por otro lado, la heredabilidad en sentido amplio se define como el cociente de la varianza genética total sobre la varianza fenotípica convencionalmente se representa como H^2 (Becker, 1986; Falconer, 1983; Namkoong, 1979), y se le llama también coeficiente de determinación genética.

Sin duda alguna, la heredabilidad no es un parámetro que permanezca constante, ya que depende de la magnitud de los componentes de varianza. Un cambio en cualquiera de estos le afectara. Por otro lado, los componentes

genéticos están influenciados por las frecuencias génicas, los cuales pueden diferir de una población con respecto a la otra (Falconer, 1983).

Entre los parámetros genéticos más importantes se encuentra la heredabilidad; que en sentido amplio (H^2), es la porción de la varianza fenotípica que corresponde a la varianza genética total; en sentido estrecho (h^2), es la porción de la varianza fenotípica que corresponde a la varianza genética aditiva. Una definición un tanto más general de este parámetro es la siguiente: es la fracción del diferencial de selección es practicada en base a una unidad de referencia definida (Hanson, 1963 citado por Lamkey y Hallauer, 1987).

Por otra parte, la varianza ambiental depende de las condiciones de cultivo, manejo y otras características agronómicas. Condiciones más variables reducen la heredabilidad, mientras que, las más uniformes las aumentan. Debe quedar claro, que siempre que se haga referencia a un valor de heredabilidad, este solo es aplicable a esa población particular, desarrollada en ese ambiente específico (Falconer 1983).

Interacción Genotipo Ambiente

Márquez (1985), señala que ambientes controlados, los genotipos se estarán adaptando a una serie de condiciones ante las cuales tienen que sobrevivir y desarrollarse. Dichos genotipos han tenido ciertas modificaciones para adaptarse a esos ambientes, dándose de esta forma la interacción genotipo-ambiente.

Márquez (1974), citados por Rodríguez (2000), mencionan que la interacción genotipo-ambiente es el comportamiento relativo diferencial que exhiben los genotipos cuando se les somete a diferentes ambientes.

Mendoza (1986), menciona que para tener un mejor entendimiento del término “interacción genotipo-ambiente”, se debe definir algunos conceptos relacionados con este fenómeno como son los siguientes: medio ambiente predecible y no predecible así como adaptación, adaptabilidad, plasticidad y homeostasis.

Comstock y Robinson (1948), dice que la expresión fenotípica de un carácter, es la suma de un efecto genético y una desviación atribuible al medio ambiente y la interacción entre el genotipo y el medio ambiente involucrado. Robinson et al., (1951) mencionan que los conocimientos de la heredabilidad de un carácter son importantes para el mejoramiento a través de la selección.

Robinson et al., (1951) describen que la variación presente en poblaciones segregantes de maíz, es atribuible a tres fuentes principales: a) efectos genéticos aditivos; b) efectos no aditivos, debido a dominancia e interacción de genes no alelicos y c) efectos ambientales. Además, citan que el término variación genotípica solamente se usa para referirse a la variación genética aditiva o heredable, la cual es parte de la variación responsable del resultado de la selección. Sin embargo, muchos otros autores incluyen a los efectos de dominancia y epistasis en el término variación genotípica.

Diseños genéticos

El mejoramiento genético tiene como objetivo principal incrementar el rendimiento, que va a la par con el mejoramiento de una serie de caracteres de interés agronómico, tales como: precocidad, altura de la panoja, resistencia al acame entre otros. Sin embargo, el lograr un nivel aceptable de mejora, cada carácter resulta una tarea poco fácil. Los diseños de apareamiento llamados dialelicos se han utilizados frecuentemente para estimar efectos maternos, recíprocos, de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica, y componentes de la varianza genética de poblaciones de diferente naturaleza (griffing,1956; Wright,1985; Christie y Shattuck,1992; molina,1993) sin embargo, la mayor limitante para aplicar los dialelicos particularmente en las especies autogamas, es el trabajo de las emasculaciones y las polinizaciones para los cruzamientos requeridos por una estrategia dialelica.

El estudio de la herencia de caracteres cuantitativos implica desarrollar progenies, obtenidas de acuerdo a un patrón de apareamiento, lo que comúnmente se llama diseños genéticos. Existen varios y tienen cierta complejidad estadística, en el grado de formar las progenies considerando la flexibilidad para aplicarlos a diversos cultivos (Hallauer y Miranda, 1981).

Los diseños genéticos o diseños de apareamiento son planes de cruzamiento entre individuos de una población, con el objetivo de estudiar teóricamente los efectos y las varianzas genéticas que se presentan en las progenies (variables causales), para luego relacionar dichos efectos con los datos físicos de dichas progenies (variables observables), y así poder estimar los parámetros genéticos que interesen al mejorador. Generalmente dichos parámetros son: la varianza genética, la varianza ambiental y la varianza fenotípica, con las cuales se puede estimar la heredabilidad, para poder hacer predicciones de la respuesta Existe un número de diseños de apareamiento que

son utilizados por los mejoradores de plantas para estimar los componentes de la varianza genética en una población. Fehr (1987) señala como los más comúnmente usados a los diseños I y II de Carolina del Norte (mejor conocidos como diseño jerarquizado y factorial, respectivamente) y el dialélico. Sin embargo, Hallauer y Miranda (1981) mencionan que el diseño de apareamiento dialélico ha sido usado y abusado más extensivamente que cualquier otro en maíz y otras especies de plantas.

Griffing (1956) interpretó los cruces dialélicos sobre la base de los conceptos de capacidad combinatoria general y específica para un grupo determinado de líneas o para una muestra aleatoria de la población (Modelo I y II, respectivamente). Caso esté último en que las inferencias son hechas acerca de los parámetros de la población parental y en particular para estimar los componentes genéticos y ambientales de la varianza.

Diseños dialelicos de griffing

Griffing (1956) abordo los conceptos y la teoría estadística relacionada con los diseños dialelicos. De acuerdo a si participan o no las autofecundaciones y las cruzas reciprocas de la F1 y las clasifico en cuatro métodos:

1. Participan todas las cruzas posibles. Comprende las autofecundaciones, cruzas directas F1 y cruzas reciprocas de las F1. Habrá p^2 familias, donde p es el número de progenitores.

2. Incluye solo autofecundaciones y cruzas directas F1. Esto es, tendremos $p(p+1)/2$ número de familias.

3. Comprende cruzas directas F1 y reciprocas F1 tendríamos $p(p-1)$ número de familias.

4. Solo participan las cruzas directas F1 habrá $p(p-1)/2$ número de familias.

Los diseños pueden utilizarse en muchas especies de plantas. Su empleo depende en gran parte de la habilidad para realizar los cruzamientos, así como, la cantidad de semilla producida. Su principal desventaja, es que son imprácticos de usar, cuando hay más de 10 a 15 progenitores (Hallauer y Miranda, 1981).

Un aspecto importante a mencionar, para los dialelicos de griffing, con los dialelicos parciales es la condición de simetría; es necesario que cada progenitor intervenga en el mismo número de cruzas. Si esa condición no se cumple, tendremos un diseño desbalanceado (Martínez, 1983).

Diseños de Carolina del Norte

Existe un número de diseños de apareamiento que son utilizados por los mejoradores de plantas para estimar los componentes de la varianza genética en una población. Fehr (1987) señala como los más comúnmente usados a los diseños I y II de Carolina del Norte (mejor conocidos como diseño jerarquizado y factorial, respectivamente) y el dialélico. Sin embargo, Hallauer y Miranda (1981) mencionan que el diseño de apareamiento dialélico ha sido usado y abusado más extensivamente que cualquier otro en maíz y otras especies de plantas. El mismo está constituido por todos los cruces posibles entre un conjunto de padres, los cuales pueden tener cualquier nivel de endocria, aunque comúnmente son líneas endocriadas. Generalmente la evaluación de un dialelo no incluye a los padres y/o a los cruces recíprocos y se analiza en la generación F1, pero también puede ser analizado en la generación F2 o en las subsiguientes (Layrisse, 1981). Vega (1987) señala que los cruzamientos

dialélicos han sido utilizados principalmente para obtener información de la población parental con relación a tres aspectos genéticos fundamentales:

1. Estimar varianzas genéticas cuando los padres son individuos o líneas escogidas al azar de una población panmíctica en equilibrio de ligamiento, Modelo de Hayman. (Hayman, 1954).
2. Estimar los efectos de capacidad combinatoria general y específica de cruzamientos de un grupo determinado de líneas, Modelo de Griffing. (Griffing, 1956).
3. Evaluación de un grupo de variedades de apareamiento aleatorio y de los efectos heteróticos de sus cruzamientos, Modelo de Gardner y Eberhart (Gardner y Eberhart, 1966). Griffing (1956) interpretó los cruces dialélicos sobre la base de los conceptos de capacidad combinatoria general y específica para un grupo determinado de líneas o para una muestra aleatoria de la población (Modelo I y II, respectivamente). Caso esté último en que las inferencias son hechas acerca de los parámetros de la población parental y en particular para estimar los componentes genéticos y ambientales de la varianza.

Esta clase de diseños fueron elaborados por Comstock y Robinson (1948) en carolina del norte. Según la técnica de apareamiento entre se reconocen tres métodos, cuyas características son las siguientes:

Diseño I: es también denominado diseño anidado o jerárquico. Bajo este esquema, 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, 1988). Este diseño permite estimar la varianza aditiva y también la de dominancia (Hallauer y Miranda, 1981).

El diseño de apareamiento factorial o diseño II es una modificación del diseño I de Carolina del Norte, propuesto por Comstock y Robinson (1948). En este diseño se toman al azar de la población m machos y h hembras realizando $m \times h$ cruces, resultando igual cantidad de familias de hermanos completos. Por consiguiente, es en esencia, un experimento factorial $A \times B$, donde se utilizan dos factores, uno que representa a las líneas utilizadas como hembras y el otro a las líneas usadas como machos, el número de hembras puede ser igual al de machos, pero no es necesario que sea así.

La obtención de familias de medios hermanos paternos y de hermanos completos en los Diseños I y II de la Universidad Estatal de Carolina del Norte, aplicados para la estimación de varianzas genéticas es un proceso bastante laborioso; además, algunas veces se obtienen estimaciones de la varianza genética dominante negativas con el Diseño I. Por otra parte, al usar el Diseño II en especies como maíz, cuyas plantas presentan por lo general sólo una inflorescencia femenina y otra masculina, las plantas que deben servir como hembras tienen que ser autofecundadas, de manera que sus líneas S_1 puedan ser polinizadas por varias plantas macho S_0 . Una familia de medios hermanos (FMH) es la progenie de una planta polinizada por varias otras. Una familia independiente de hermanos completos (FIHC) no comparte progenitor alguno con ninguna otra familia de HC. En esta investigación, con el diseño de familias independientes de hermanos completos (DFIHC) las estimaciones de las varianzas genéticas, en ausencia de endogamia y de epistasis, son: $s_A^2 = \frac{3}{2} s_D^2 - \frac{1}{2} s_{WG}^2$ y $s_F^2 = \frac{1}{2} s_{WG}^2 + \frac{1}{2} s_D^2$, en donde s_F^2 y s_{WG}^2 son las componentes observables de la varianza entre familias y dentro de familias, respectivamente. La ventaja operacional de usar el DFIHC consiste en que las familias son fáciles de obtener por polinización manual (por cruza planta a

planta directas y recíprocas). Desde el punto de vista estadístico, con valores asignados de las varianzas genéticas y ambientales, la estimación de $s^2 D$ con el DFIHC fue más precisa que con los estimadores del Diseño I. En relación con $s^2 A$, excepto para las tres combinaciones en las que el valor asignado fue $s^2 A = 1$, el estimador con DFIHC fue el menos preciso.

Dos son los propósitos que se persiguen al estimar los parámetros genéticos (Robinson y Cockerham, 1965): 1) suministrar información sobre la naturaleza de la acción de los genes y 2) suministrar la información básica para la utilización de programas de mejoramiento de una población, o posiblemente, la información para el desarrollo de nuevos enfoques para el mejoramiento genético de plantas y animales.

Se han planteado una serie de aspectos muy importantes para el trabajo de fitomejorador que pueden ser abordados por medio de la estimación de los parámetros genéticos (Dudley y Moll, 1969), entre ellos están: 1) Si existe suficiente variación genética en la población para permitir el mejoramiento en los caracteres de importancia. 2) Cuan extensamente debe evaluarse el material (en términos de años, localidades, repeticiones) para identificar las progenies superiores en la poblaciones. 3) Qué material genético de la población es prometedor como fuente de mejoramiento. 4) Qué método de mejoramiento puede resultar más efectivo. 5) Si el material final más apropiado será un híbrido, sintético o variedad mejorada.

Diseño II: mencionado, como diseño factorial o cruzado. Esta técnica de apareamiento consiste principalmente en cruzar un grupo determinado de progenies machos con un conjunto de hembras, en todas las combinaciones posibles. La única restricción del diseño, es que unos progenitores actúan como machos y otros solo como hembras. Habrá de notarse la diferencia con los

diseños dialélicos, donde los mismos progenitores pueden usarse como hembras y machos a la vez. Este diseño tiene la ventaja de manejar un número grande de cruza con respecto a los dialélicos (Hallauer y Miranda, 1981). Desde el punto de vista genético, la información obtenida del diseño II es similar a la proporcionada por el diseño I. con este diseño, se puede hacer inferencia sobre dos estimaciones independientes de la varianza aditiva más a la estimación directa de la varianza de dominancia.

Diseño III: este diseño fue desarrollado con la finalidad de estimar el grado de dominancia de los genes que controlan los caracteres de una población en estudio. Este apareamiento consiste principalmente en retrocruzar plantas de la F₂, que son tomadas de la población, las cuales posteriormente se usaran como machos para polinizar los dos progenitores endogámicas, de las que descende la F₂ y habrá dos pares de progenie retrocruzados, por cada macho de la F₂ utilizado. Este diseño además, tiene la finalidad de estimar la varianza aditiva y la de dominancia (Hallauer y Miranda, 1981; Márquez, 1988).

En ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) se han realizado algunos trabajos utilizando estos dos diseños de apareamiento con el objeto de determinar los efectos y las varianzas de la capacidad combinatoria general y específica. Fendel (1990) evaluando un cruzamiento factorial de tres cultivares comerciales y quince introducciones exóticas de ajonjolí encontraron que las diez variables estudiadas estuvieron bajo el control de la acción génica aditiva.

Delgado y Layrisse (1992), utilizando un dialélico 8 x 8 en ajonjolí, encontraron para todas las variables estudiadas diferencias altamente significativas en la CCG y CCE, indicando que tanto la acción génica aditiva como la no aditiva eran importantes en la expresión de las características evaluadas.

Quijada (1992) estudió la capacidad combinatoria en ajonjolí utilizando un dialélico 12 x 12, encontrando diferencias altamente significativas para CCG y CCE en la mayoría de las características evaluadas, y que para el rendimiento los efectos de CCE fueron más importantes que los de CCG, lo que indica un predominio de los efectos génicos no aditivos. Virk et al. (1985) compararon la información genética obtenida de un diseño factorial 5 x 4 con la de un cruce dialélico de nueve padres en trigo.

(Triticum aestivum L.). En general, hubo un alto grado de ajuste entre los resultados obtenidos de los análisis de ambos diseños, mostrando así que el diseño factorial provee información genética equivalente al dialélico de selección (Márquez, 1992).

Para cockerham (1963) los diseños genéticos pueden agruparse en diseño de uno, dos, tres o más factores, dependiendo del número de ancestros por progenie, sobre los que se tuvo control. De esta manera, una familia de medios hermanos o progenie de policruzas, es un diseño de un solo factor ya que hubo control sobre un progenitor.

Aptitud Combinatoria General y Específica

El descubrimiento de la esterilidad masculina citoplasmática en las plantas con un alto grado de auto-polinización, ha hecho posible la producción de semilla híbrida y ha facilitado el trabajo a los fitomejoradores para provocar variabilidad genética, seleccionar y recombinar, permitiendo elegir aquellos genotipos que presenten una mejor combinación híbrida.

La aptitud combinatoria es la capacidad que tienen un individuo o una población de combinarse con otros, medida por medio de su progenie

(Márquez, 1988). Sin embargo, la aptitud combinatoria debe determinarse no sólo en un individuo de la población sino en varios, a fin de poder seleccionar los que exhiban la más alta aptitud combinatoria. Existen varios diseños de análisis dialélico para estimar ACG y ACE, pero el más utilizado es el de Griffing (1956 b), en sus cuatro métodos: 1) progenitores y sus cruzas F1 directas y recíprocas; 2) progenitores y cruzas F1 directas; 3) cruzas F1 directas y recíprocas; y 4) cruzas F1 directas.

Chávez y López (1987) mencionan que la aptitud combinatoria, es el comportamiento medio de una línea en combinaciones híbridas con otras líneas.

La aptitud combinatoria de líneas endocriadas de maíz, podría estimarse mediante el comportamiento de sus cruzas con un probador común, y esta prueba se puede efectuar en cualquier grado de endogamia de la línea (Davis, 1927)

Kambal y Webster (1965), citados por Avalos (1983), reportaron que la ACG es relativamente más importante que la ACE cuando se trata de materiales no seleccionados previamente y que la ACE es de mayor relevancia en materiales que han sido seleccionados anteriormente, en base a su ACG hicieron estimaciones de varianza de ACG para los caracteres rendimiento, peso de semillas, altura de planta, días a floración encontrando significancias mayores de cero. Lo mismo ocurrió para las estimaciones de ACE, concluyendo que los efectos de ACG fueron más estables que los de ACE y que se requieren mayor información sobre la interacción con localidades ya que su estudio solamente se efectuó en dos años y un solo ambiente.

Mendoza (1988), menciona que los valores de ACG y ACE es una estrategia confiable para la selección de progenitores en la formación de híbridos de sorgo para grano.

Paccapelo (1993), citados por Rodríguez (2000), estudio la ACG en doce progenitores para diferentes características en maíz, y reporto que los progenitores con mayor Aptitud Combinatoria General se encuentran involucrados en las cruzas que manifiestan los valores superiores de ACE e incluso que cuando uno de los progenitores de baja ACG intervienen en una crusa con progenitor de alta ACG los híbridos rinden como si los dos padres fueran de alta ACG.

Serrano y Mendoza (1990), citados por Morgado (1999), mencionan que en la selección de progenitores se han empleado diversos criterios, los cuales están determinados en gran medida por la amplitud de intereses que motivan a cada fitomejorador. Uno de los criterios más empleados en la selección de progenitores, sobre todo cuando el interés es mejorar algún carácter cuantitativo, es la consideración de la ACG, tomando como base de estudios de selección e hibridación en maíz, en el caso de sorgo, a la fecha se menciona que la ACG es más importante que la ACE.

Márquez (1988) sugirió que la aptitud combinatoria significa que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, midiendo su capacidad basándose en su progenie; este mismo autor menciona que no solo debe determinarse por un solo individuo de la población, pero si en varios, con el fin de realizar selección de aquellos que mejor se expresen.

Jugenheimer (1981) propone que la ACG es el desempeño promedio de una línea pura en alguna combinación híbrida, y además proporciona información sobre las líneas con alto grado de endogamia que debe producir los mejores híbridos, mientras que la ACE, es el desempeño, de ciertas combinaciones que son relativamente en el comportamiento medio de las líneas combinadas.

Ross, et al. (1979) colectaron datos de dos experimentos de sorgo forrajero en lo que se refiere a días a floración, altura de planta, producción de forraje, porcentaje de materia seca, porcentaje de proteína. Las proporciones genéticas indicaron que la ACG fue relativamente alta para días a floración, altura, y producción de forraje. La ACE fue más importante para porcentaje de proteína.

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

La caracterización de los progenitores por su aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), permite establecer las estrategias y técnicas adecuadas para estimar parámetros genéticos y el método de mejoramiento genético más adecuado (Hallauer y Miranda, 1981), tanto en especies autógamias como alógamas.

La genética de características ha sido utilizada para el mejoramiento de numerosas especies vegetales, en la mayoría de los estudios se ha resaltado la importancia de los efectos de ACG y ACE e ignoran los factores maternos y recíprocos; es decir, se acepta que existe diferencia en el desempeño de cruzas directas y recíprocas (Mosjidis et al., 1989); sin embargo, en algunas investigaciones se han mostrado valores inconsistentes (en diferentes ambientes) y más pequeños que los obtenidos para ACG o ACE (Velázquez et al., 1992).

La ACG se determina el desempeño promedio de una línea en sus combinaciones híbridas, mientras que, la ACE separa las combinaciones híbridas específicas que resulten mejor o peor de lo que se esperaría en relación con la media de la ACG de las dos líneas progenitoras (Sprague y Tatum, 1942). Ambas son útiles para seleccionar progenitores e híbridos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] (Kenga et al., 2004; Solanki et al., 2007). En este cultivo, la ACG fue importante para mejorar el vigor de plántulas (Yu y Tuinstra, 2001), rendimiento y días a floración (Estrada y Ángeles, 1975). Se ha sugerido que el comportamiento per se de las líneas puede ser un buen estimador de la ACG (Orozco y Mendoza, 1983; Mendoza, 1988), por la correlación significativa entre ambos (Yu y Tuinstra, 2001).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de localidades

Los trabajos se llevaron a cabo en dos localidades: Buenavista. Coah. Campo experimental de la UAAAN localizado entre las coordenadas 25° 21' 13" latitud norte y 101° 02' 01" longitud oeste, a una altura de 1742 msnm. de acuerdo al global positions , systems (GPS) con un clima seco y templado con lluvias en verano, con una temperatura media de 19.8°C, Y General Cepeda que se localiza en el estado de Coahuila, entre las coordenadas 25° 22' 35" latitud norte y 101° 28' 30" longitud oeste, con una altura de 1410 msnm, con clima templado con temperatura de de 19° C.

Material genético

Para la realización del presente trabajo se emplearon siete líneas de hembras y siete líneas de machos del programa de sorgo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Cuadro 1. Material Genético

Genealogía	
Hembras	Machos
A2	IA28
AN35	IA9
AN34	RTX433
AN39	14-3
IA36	124-2
A625	IA52
AN635	IA57

Establecimiento y manejo del experimento

Se efectuaron labores de preparación del terreno que consistieron en barbecho, rastreo y surcado, esto con el propósito de tener las condiciones adecuadas del terreno para una buena germinación.

Siembra

La siembra se llevó a cabo en forma manual (a chorrillo) depositando la misma cantidad de semilla por tratamiento.

Fertilización

La fórmula de fertilización fue de 200-1000-00, aplicando la mitad de nitrógeno y todo el fósforo al momento de la siembra y la otra mitad del nitrógeno al primer cultivo.

.

Labores culturales

Estas se llevaron a cabo durante todo el ciclo vegetativo poniendo mayor atención en las primeras etapas de desarrollo del cultivo, se aplicaron oportunamente los herbicidas y se realizaron deshierbes en forma manual y mecánica para mantener libre de malezas al cultivo.

Riegos

Se aplicaron tres riegos con una lámina de 10 cm de igual manera se realizó control fitosanitario oportuno con el objetivo que el cultivo esté libre de plagas y malezas.

Obtención de cruzas

En el ciclo primavera verano 2010 se estableció el dialélico en los terrenos de la UAAAN, sembrándose diez surcos de 10 m. de longitud de cada hembra y de cada macho.

Antes de la floración de las hembras se cubrieron sus panojas con bolsas, para evitar contaminaciones con polen extraño y realizar los posteriores cruzamientos con cada uno de los siete machos en el momento adecuado, de igual manera se cubrió un promedio de 30 panojas de cada macho para su autofecundación e incremento de línea. El promedio de cruzas polinizadas fue de 50 plantas hembras con cada macho, para obtener suficiente semilla para las evaluaciones posteriores.

La cosecha se realizó manualmente cosechando cada cruza en forma individual, posteriormente se llevaron a la bodega de sorgo para su desgrane, de igual manera el desgrane fue manual, depositando las semillas obtenidas de cada cruza en una bolsa plenamente identificada.

La evaluación de los materiales se llevó a cabo en la localidad de General Cepeda, en el año 2011. Los 49 híbridos experimentales se muestran a continuación:

Cuadro 1.1 Listado de cruzas y testigo

Genealogía			
A2xIA28	A2XRTX433	A2X124-2	A2XIA57
AN35xIA28	AN35XRTX433	AN35X124-2	AN35XIA57
AN34XIA28	AN34XRTX433	AN34X124-2	AN34XIA57
AN39XIA28	AN39XRTX433	AN39X124-2	AN39XIA57
IA36XIA28	IA36XRTX433	IA36X124-2	IA36XIA57
A625XIA28	A625XRTX433	A625X124-2	A625XIA57
AN635XIA28	AN635XRTX433	AN635X124-2	AN635XIA57
A2XIA9	A2X14-3	A2XIA52	testigo pioneer8313
AN35XIA9	AN35X14-3	AN35XIA52	
AN34XIA9	AN34X14-3	AN34XIA52	
AN39XIA9	AN39X14-3	AN39XIA52	
IA36XIA9	IA36X14-3	IA36XIA52	
A625XIA9	A625X14-3	A625XIA52	
AN635XIA9	AN635X14-3	AN635XIA52	

Toma de datos de las variables

Altura de planta

Estas se obtuvieron midiendo la distancia de la base del tallo al ápice de la panoja. Tomando diez plantas al azar en cada unidad experimental.

Tamaño de panoja

Esta se obtuvo midiendo la longitud de la panícula del ápice a la parte basal de la misma, en las diez ya utilizadas.

Rendimiento

Es el peso de grano de todas las panojas de la parcela útil de cada material, este peso se multiplica después por un factor de corrección para obtener el peso en ton/ha.

Diseño experimental

En la localidad de General Cepeda se realizó la evaluación de los materiales usando un diseño de bloques al azar con tres repeticiones, consistiendo la parcela experimental de 2 surcos de 5m con una distancia entre surcos de 0.80m.y la parcela útil fue de tres m. de cada surco.

Análisis de varianza

El modelo utilizado para realizar el análisis de los datos es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \beta_j + e_{ij}$$

Y_{ij} = Valor observado del i -ésimo tratamiento en la J -ésima repetición

μ = Media general.

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

B_j = Efecto del j -ésimo bloque

E_{ij} = Error experimental.

Cuadro 1.2. Análisis de varianza

FV	GL	CM
Repeticiones	$r-1$	
Tratamientos	$t-1$	M^2
Error	$(r-1)(t-1)$	$M 1$
Total	$(rt-1)$	

El coeficiente de variación

La fórmula empleada para su cálculo es:

$$C.V.=\frac{\sqrt{CMEE}}{\bar{x}} \times 100$$

Donde:

C.V= Coeficiente de variación

CMEE= Cuadrado medio del error experimental.

\bar{x} = Media general.

Comparación de medias

Se realizara con el método de diferencia mínima significativa (D.M.S) al 0.05% de probabilidad, para observar el agrupamiento de los genotipos y ordenarlos para facilitar el análisis de las medias y la comparación de los grupos. La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$D.M.S = \frac{t_{\alpha}}{2}, g. l. E. E. \sqrt{\frac{2 CMEE}{r}}$$

Análisis estadístico

Para las estimaciones de los componentes de la varianza genética, se utilizó el diseño de carolina del norte, propuesto por Comstock y Robinson (1948), dividiéndose en 7 grupos de machos con 7 grupos de hembras. Este diseño hace posibles cruzamientos entre un grupo de individuos macho (m) y un grupo de individuos hembras (h) resultando en total descendientes. Así, cada apareamiento produce una familia de hermanos completos y el grupo de cruza tienen un progenitor en común que constituye una familia de medios hermanos.

Una ventaja de usar este diseño es que nos permite incluir mayor número de progenitores, aprovechando mejor los recursos, ya que en los dialélicos no es posible. Además se pueden estimar dos varianzas aditivas (σ^2_a) y se puede estimar σ^2_M y σ^2_H .

Este coeficiente de determinación genética nos va ayudar a predecir la superioridad en rendimiento de grano de los híbridos en la siguiente generación. La predicción se llevó a cabo mediante la siguiente formula.

$$P = H^2 (R - X) + X$$

Donde

$H^2(R-X)$ = superioridad del híbrido

H^2 = coeficiente de determinación genética

R = media de rendimiento de la crusa

- X = media general de las cruzas

El modelo lineal que sigue el diseño ii de carolina del norte es el siguiente:

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

Dónde:

I = 1, 2, ..., m (machos)

J = 1, 2, ..., h (hembras)

K= 1,2,...r(repeticiones)

Y_{ijk} = observación de cruzamientos entre el i-esimo macho y la j-esima hembra en la k-esima repeticion

μ = media general

M_i = efecto del i-esimo macho

H_j = efecto de la j-esima hembra

Φ_{ij} = efecto de la interaccion de i-esimo macho con la j-esima hembra.

E_{ijk} = error experimental asociado con la ij-esima cruza en la k-esima repeticion.

Cuadro 1.3 Para los diferentes caracteres estudiados se realizo un analisis de varianza para la localidad de General Cepeda con base en el diseo ii de carolina del norte.

F.V	G.L	SC	CM	ECM
M	(m-1)	$\frac{\sum_{i=1}^m Y_{i..}^2}{hr} - \frac{Y_{...}^2}{rhm}$	M5	$\sigma^2 e + r h \sigma^2 M$
H	(h-1)	$\frac{\sum_{j=1}^h Y_{.j.}^2}{mr} - \frac{Y_{...}^2}{rhm}$	M4	$\sigma^2 e + r m \sigma^2 H$
H x M	(h-1)(m-1)	$\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^h Y_{ij.}^2}{r} - \frac{\sum_{i=1}^m Y_{i..}^2}{rh} - \frac{\sum_{j=1}^h Y_{.j.}^2}{rm} + \frac{Y_{...}^2}{rhm}$	M3	$\sigma^2 e + r \sigma^2 H M$
Rep.	(r-1)	$\frac{\sum_{k=1}^r Y_{...k}^2}{mh} - \frac{Y_{...}^2}{rhm}$	M2	$\sigma^2 e + h m \sigma^2 R$
Error	(r-1)(hm-1)	SCT-(SCM+SCH+SCHXM+SCR)	M1	$\sigma^2 e$
total	Rhm-1	$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^h \sum_{k=1}^r Y_{ijk}^2 - \frac{Y_{...}^2}{rhm}$		

Estimaciones de aptitud combinatoria

Utilizando los datos de la localidad, se estimaron los efectos de la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) para los dos grupos y sus cruzas respectivamente y para cada variable, de acuerdo con los principios propuestos por Sprague y Tatum (1942).

$$G_i = y_{i.} - y_{..}$$

$$G_j = Y_{.j} - Y_{..}$$

$$S_{ij} = Y_{ij} - g_i - g_j + Y_{..}$$

Dónde:

G_i, g_j , y S_{ij} = las ACG y ACE respectivamente para los i-machos, j-hembras y sus cruzas.

$Y_{i.}$ y $Y_{.j}$ = las medias de los machos y hembras respectivamente.

Y_{ij} = representa el valor observado para la craza i x j; y la $Y_{..}$ es la media de las i x j cruzas.

La significancia estadística de la diferencia entre las ACGs de las líneas se evaluó mediante la prueba de t o diferencia mínima significativa, como indica Chaudhary y Singh (1979).

$$DMS\alpha = EE \times t(\alpha/2, glee)$$

Dónde:

DMS α = diferencia mínima significativa a una probabilidad α

EE= error estándar para la comparación de medias el cual con m machos, h hembras y r repeticiones equivale a lo siguiente.

$$EE = \sqrt{\frac{2CME}{rm}} \text{ para ACG de hembras}$$

$$EE = \sqrt{\frac{2CME}{rh}} \text{ para ACG de machos}$$

T ($\alpha/2$, glee)= valor de las tablas, apropiado a los grados de libertad del error experimental a una probabilidad α .

De esta forma se estimaron y probaron los efectos de la aptitud combinatoria para las variables de este estudio.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el cuadro 2 se presentan los resultados del análisis de varianza individual para cada uno de los caracteres, es importante mencionar que los datos en este estudio se sometieron a una serie de pruebas con el propósito de cumplir los supuestos del modelo en el análisis empleado. De las tres variables analizadas, rendimiento de grano; altura de planta y tamaño de panoja, el análisis muestra diferencias altamente significativas para las tres características, con coeficientes de variación de 7.43%, 2.09%, y 2.50% respectivamente lo que muestra que los resultados son muy confiables, lo que indica que el experimento se condujo de una forma adecuada.

Cuadro 2. Análisis de varianza para las variables de altura de planta, longitud de panoja y rendimiento.

F.V	G.L	C.M Rendimiento	C.M Altura de planta	C.M Tamaño de Panoja
Rep.	2	8704.000000**	0.625000**	0.285156**
Trat.	49	8325182.500000**	389.841827**	17.872608**
EE	98			
Total	149			
C.V		7.43%	2.09%	2.50%
M.G		5,122.707	113.60	24.47

En el cuadro 2.1 se presentan las medias de rendimiento de grano de los 50 genotipos evaluados mostrando 21 grupos estadísticamente diferentes, en el primer grupo se observan los híbridos A625 X 14-3, A2 x IA-28 y A625 X IA-28 con rendimientos de 8,243.07 , 8,143.40 y 7, 964.40 kg ha. ⁻¹ respectivamente, el testigo se encuentra en el séptimo grupo con un rendimiento de 5,429.07403 kg ha⁻¹, la diferencia con el híbrido experimental mas rendidor es de 2,813.996 kg lo cual si se analiza desde un punto de vista económico si es importante. El rendimiento promedio de sorgo para grano es de 2 a 4 ton/ha en el estado de Coahuila (SIAP, 2014). Debido a las condiciones ambientales y probablemente por fecha de siembra diferentes. Cabe destacar que en el primer grupo, son las hembras A₂ y A625 las que mejor combinan con tres machos destacados, 14-3 IA28 y 124-2

Cuadro 2.1 D.M.S para la variable rendimiento de grano.

Numero	Entrada	Genealogía	Media	Grupos
1	27	A625 X 14-3	8,243.074	A
2	1	A2 x IA 28	8,143.407	A
3	6	A625 X IA28	7,964.407	A
4	22	A2 X 14-3	7,808.407	A
5	29	A2 X 124-2	7,795.740	A
6	34	A625 X 124-2	7,684.074	A
7	7	AN635 X IA28	6,981.740	B
8	16	AN35 X RTX433	6,570.740	BC
9	35	AN635 X 124-2	6,393.407	BCD
10	28	AN635 X 14-3	6,364.740	BCD
11	30	AN35 X 124-2	6,317.074	BCD
12	25	AN39 X 14-3	6,265.074	CDE
13	26	IA36 X 14-3	6,263.074	CDE
14	23	AN35 X 14-3	6,208.074	CDEF
15	11	AN39 XIA9	6,195.407	CDEF
16	3	AN34 X IA 28	6,118.407	CDEFG
17	19	IA36 X RTX433	6,018.740	CDEFG
18	9	AN35 X IA9	5,948.074	CDEFGH
19	2	AN35 x IA28	5,733.074	DEFGHI
20	31	AN34 X 124-2	5,596.074	EFGHI
21	15	A2 X RTX433	5,514.407	FGHIJ

22	50	pioneer8313	5,429.074	GHIJ
23	33	IA36 X 124-2	5,298.407	HIJK
24	14	AN635 X IA9	5,272.074	HIJKL
25	21	AN635XRTX433	5,100.074	IJKLM
26	24	AN34 X 14-3	5,041.740	IJKLM
27	4	AN39 X IA28	4,872.740	JKLMN
28	5	IA36 X IA28	4,856.074	JKLMN
29	47	IA36 X IA57	4,850.074	JKLMN
30	8	A2 X IA9	4,704.074	KLMNÑ
31	43	A2 X IA57	4,576.740	LMNÑ
32	45	AN34 X IA57	4,452.074	MNÑO
33	20	A625XRTX433	4,445.407	MNÑO
34	32	AN39 X 124-2	4,330.740	NÑO
35	42	AN635 X IA52	4,267.407	NÑOP
36	13	A625 X IA9	4,214.074	NÑOP
37	17	AN34 X RTX433	4,203.740	NÑOP
38	49	AN635 X IA57	4,135.074	ÑOP
39	37	AN35 X IA52	4,027.074	ÑOP
40	18	AN39 X RTX433	3,791.740	OPQ
41	39	AN39 X IA52	3,620.740	PQR
42	12	IA36 X IA9	3,585.407	PQR
43	48	A625 X IA57	3,296.407	QR
44	10	AN34 X IA9	3,229.074	QR
45	36	A2 X IA52	3,181.407	QR
46	41	A625 X IA52	3,169.407	QR
47	46	AN39 X IA57	3,051.740	R
48	40	IA36 X IA52	2,331.074	S
49	44	AN35 X IA57	2,124.740	S
50	38	AN34 X IA52	549.740	T

En el cuadro 2.2 se muestran las medias para la variable longitud de panoja

de los 50 materiales evaluados, las cuales se agrupan en 24 grupos estadísticamente diferentes en los que destacan los híbridos A625 X 124-2, A625 X IA-28 y 625 x 14-3 con 29.13, 28.33 y 28.30 cm. respectivamente, siendo los mismos machos que sobresalen en la característica rendimiento, en cuanto al testigo este presenta una longitud de panoja de 26.00 cm, Considerando que esta característica es de gran importancia en el rendimiento

para grano, los híbridos mas rendidores A625 X 14-3 , A625 X IA-28 se encuentran en el primero y tercer lugar en cuanto a longitud de panoja, lo que los hace para a estas dos características ser sobresalientes ,por otra parte el hibrido A2 X IA-28 que ocupó el segundo lugar en rendimiento , para esta característica se encuentra en el grupo tres con 26.56 cm. considerado como un buen tamaño. Esto hace suponer que esta característica es una importante componente de rendimiento.

Cuadro 2.2 D.M.S para la variable longitud de panoja

Numero	entrada	Genealogía	Media (cm)	GRUPOS
1	34	A625 X 124-2	29.13	A
2	6	A625 X IA28	28.33	AB
3	27	A625 X 14-3	28.30	AB
4	29	A2 X 124-2	28.00	B
5	35	AN635 X 124-2	27.46	BC
6	22	A2 X 14-3	27.36	BCD
7	43	A2 X IA57	26.93	CDE
8	25	AN39 X 14-3	26.86	CDE
9	10	AN34 X IA9	26.86	CDE
10	48	A625 X IA57	26.56	CDE
11	1	A2 x IA 28	26.56	CDE
12	3	AN34 X IA 28	26.40	DEF
13	31	AN34 X 124-2	26.33	EF
14	50	pioneer8313	26.00	EFG
15	45	AN34 X IA57	25.93	EFG
16	26	IA36 X 14-3	25.53	FGH
17	28	AN635 X 14-3	25.46	FG
18	44	AN35 X IA57	25.26	GH
19	36	A2 X IA52	25.20	GHI
20	30	AN35 X 124-2	25.13	GHI
21	23	AN35 X 14-3	25.10	GHIJ
22	32	AN39 X 124-2	25.00	GHIJK
23	8	A2 XIA9	24.76	HIJKL
24	24	AN34 X 14-3	24.73	HIJKL
25	4	AN39 X IA28	24.46	IJKL
26	9	AN35 X IA9	24.43	IJKL
27	49	AN635 X IA57	24.40	IJKLM
28	11	AN39 XIA9	24.10	JKLMN

29	41	A625 X IA52	24.03	KLMN
30	20	A625XRTX433	24.00	KLMNÑ
31	37	AN35 X IA52	23.96	LMNÑ
32	15	A2 XRTX433	23.96	LMNÑ
33	33	IA36 X 124-2	23.76	LMNÑO
34	47	IA36 X IA57	23.40	MNÑOP
35	38	AN34 X IA52	23.30	NÑOP
36	7	AN635 X IA28	23.00	ÑOPQ
37	17	AN34 X RTX433	22.76	OPQR
38	14	AN635 X IA9	22.66	PQR
39	12	IA36 X IA9	22.63	PQR
40	13	A625 X IA9	22.60	PQR
41	21	AN635XRTX433	22.53	PQR
42	42	AN635 X IA52	22.20	QRS
43	2	AN35 x IA28	21.96	RST
44	5	IA36 X IA28	21.20	STU
45	46	AN39 XIA57	21.13	TU
46	18	AN39 X RTX433	20.46	UV
47	39	AN39 X IA52	19.96	VW
48	40	IA36 X IA52	19.80	VW
49	19	IA36 X RTX433	19.30	W
50	16	AN35 X RTX433	19.20	W

En el cuadro 2.3 se muestran las medias de altura de planta, el cual esta dividido en 27 grupos siendo los tres híbridos más altos AN39 X RTX433, AN36 X RTX433 y AN35 x IA28 con 138.36, 138.03 y 130.70 cm respectivamente, el testigo presenta una altura de 106.70 cm. para esta característica los híbridos mas rendidores para grano A625 X 14-3, A2 X IA-28 Y A625 X IA-28 presentan alturas de 112.70, 119.36 y 122.70 cm. respectivamente siendo buenas alturas de planta.

Los anteriores tres híbridos mostraron ser los más sobresalientes, posteriores estudios nos confirmaran si realmente esto se debe a una cuestión genética y no a condiciones ambientales considerando que estos híbridos están en fases preliminares de estudio.

Cuadro 2.3 D.M.S para la variable altura de planta

Numero	entrada	Genealogía	medias	GRUPOS
1	18	AN39 X RTX433	138.36	A
2	19	IA36 X RTX433	138.03	A
3	2	AN35 x IA28	130.70	B
4	25	AN39 X 14-3	129.70	BC
5	20	A625XRTX433	128.36	BCD
6	3	AN34 X IA 28	127.70	BCD
7	16	AN35 X RTX433	126.70	CDE
8	4	AN39 X IA28	125.03	DEF
9	37	AN35 X IA52	124.70	DEFG
10	15	A2 XRTX433	123.70	EFG
11	33	IA36 X 124-2	123.36	EFG
12	6	A625 X IA28	122.70	FGH
13	44	AN35 X IA57	122.70	FGH
14	26	IA36 X 14-3	121.03	GHI
15	1	A2 x IA 28	119.36	HIJ
16	7	AN635 X IA28	118.70	IJ
17	9	AN35 X IA9	117.70	IJK
18	17	AN34 X RTX433	117.70	IJK
19	42	AN635 X IA52	117.36	IJKL
20	21	AN635XRTX433	116.70	JKLM
21	28	AN635 X 14-3	116.70	JKLM
22	11	AN39 XIA9	116.03	JKLMN
23	46	AN39 XIA57	115.70	JKLMN
24	31	AN34 X 124-2	114.03	KLMNÑ
25	35	AN635 X 124-2	114.03	KLMNÑ
26	13	A625 X IA9	113.70	LMNÑO
27	39	AN39 X IA52	113.36	MNÑO
28	27	A625 X 14-3	112.70	NÑOP
29	41	A625 X IA52	112.36	NÑOP
30	49	AN635 X IA57	111.70	ÑOPQ
31	30	AN35 X 124-2	111.03	ÑOPQ
32	43	A2 X IA57	110.70	ÑOPQ
33	32	AN39 X 124-2	110.03	OPQR
34	23	AN35 X 14-3	109.36	PQR
35	47	IA36 X IA57	108.36	QRS
36	50	pioneer8313	106.70	RST
37	34	A625 X 124-2	105.36	STU
38	48	A625 X IA57	104.70	STU
39	22	A2 X 14-3	104.03	TU

40	29	A2 X 124-2	103.36	TUV
41	10	AN34 X IA9	102.36	UV
42	5	IA36 X IA28	102.03	UVW
43	36	A2 X IA52	101.70	UVW
44	12	IA36 X IA9	99.70	VW
45	14	AN635 X IA9	99.36	W
46	40	IA36 X IA52	98.36	WX
47	45	AN34 X IA57	95.03	XY
48	24	AN34 X 14-3	94.7016667	XY
49	8	A2 X IA9	92.3683333	YZ
50	38	AN34 X IA52	90.035	Z

En el cuadro 2.4 se presentan los resultados obtenidos de Cuadrados medios del análisis de varianza diseño II de Carolina del Norte para rendimiento de grano, tamaño de panoja y altura de planta. Y es importante mencionar que los datos en este estudio se sometieron a una serie de pruebas con el propósito de cumplir los supuestos del modelo en el análisis empleado. Para la variable rendimiento de grano para machos, hembras y la interacción hembras por machos es altamente significativas, por lo tanto el comportamiento tanto de machos como de hembras es muy diferente ya que eso era lo que se esperaba, por lo tanto se considera que el análisis empleado fue el correcto. El coeficiente de variación fue de 7.51 lo que demuestra la confiabilidad de los datos tomados para este estudio.

Para la variable tamaño de panoja la fuente de variación machos fue significativa, lo que indica que el comportamiento fue variable, para hembras y hembras por machos no se reportan diferencias significativas, demostrando que su comportamiento fue similar, su coeficiente de variación fue de 6.76 el cual se considera muy aceptable.

para la variable altura de planta, los machos, hembras y la interacción hembras por machos son altamente significativos lo que demuestra que su expresión fue muy diferente en cada una de las fuentes de variación, su coeficientes de variación es de 0.7 lo que indica que los resultados son muy confiables.

Cuadro 2.4. Cuadrados medios del análisis de varianza diseño II de C.N. para rendimiento de grano en Ton ha⁻¹ y otros caracteres

FV	GL	Rendimiento Ton/ha	Tamaño De panoja (cm)	Altura de planta (cm)
Machos	6	39,515,252.68**	61.93*	1195,83**
Hembras	6	8,428,118**	43.93 ns	685,42**
Hembras x Machos	36	3,332,958.42**	5.80 ns	213,00**
Repeticiones	2	10,410.5	0.335	0,354
Error	96	190,705.21	26.51	6,12
CV		7.51	6.76	0.7

*, ** Significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Efecto de aptitud combinatoria general

Se analizaron los valores de efectos de aptitud combinatoria general para cada carácter con la finalidad de observar el comportamiento genético de las líneas progenitoras de híbridos, el objetivo principal fue observar la relación que existe entre líneas en cuanto a efectos aditivos. Así que, los efectos de aptitud combinatoria general de los caracteres estudiados en ambos grupos de progenies se presentan en el cuadro 2.5 respectivamente. Los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) para cada carácter se centran en la determinación del comportamiento genético de los progenitores considerando sus combinaciones posibles, para conocer de antemano los materiales que combinan mejor. De tal modo, que al comparar la secuencia u ordenamiento de los progenitores, según su efecto de AC será el comportamiento de la descendencia híbrida, de manera que se observa que los efectos genéticos no son los mismos; por lo tanto, cada grupo de progenitores que aparezcan con altos rendimientos se espera que tenga valores elevados de AC.

Cuadro 2.5 Aptitud Combinatoria General para las variables de estudio

HEMBRAS	rendimiento	Tamaño de panoja	Altura de planta
A2	844.14	1.77	-5.85
AN35	159.09	-0.76	6.68
AN34	-946.33	0.85	-7.8
AN39	-526.72	- 1.2	7.44
IA36	-373.19	- 2.11	-0.75
A625	457.38	1.8	0.53
AN635	385.61	- 0.38	-0.23

MACHOS	rendimiento	Tamaño de panoja	Altura de planta
IA28	1,264.94	0.22	7.15
IA9	-381.01	- 0.33	-7.85
RTX433	-24.34	- 2.59	13.34
14-3	1,482.71	1.85	-1.13
124-2	1,085.76	2.06	-2.13
IA52	-2095.48	- 1.7	-5.47
IA57	-1,332.62	0.46	-3.9

Examinando detenidamente el comportamiento de los progenitores basándose en el criterio antes mencionado se encontró que los rangos estimados de los valores de ACG varían de acuerdo a los progenitores, mostrando que los

progenitores empleados como machos tuvieron una variación. La hembra A2 fue el más sobresaliente con más efecto genético para carácter rendimiento con 844.14 Y también lo fue la segunda mejor para tamaño de panoja con 1.77 pero no para altura de planta ya tuvo un valor negativo y la mejor fue la hembra AN39 con 7.44. Se observa de manera general que hay líneas tanto machos como hembras con buenas características agronómicas, las cuales pueden ser usadas en programas de mejoramiento para mejorar aún más dichas características o bien utilizarlas directamente en la producción de híbridos y aquellas líneas con características desfavorables se pueden mejorar por selección, aprovechando la presencia de genes con acción aditiva (Tadesse *et al.*, 2008).

El macho 14-3 tuvo buen comportamiento con 1482.71 para rendimiento, y también fue el segundo mejor en tamaño de panoja 1.85. Pero no para altura de planta ya que el mejor de los machos que más sobresalió y que fue el mejor fue el RTX433 13.34

Para rendimiento de grano se observó ACG positiva para tres machos y cuatro hembras, indicando la importancia de genes con efecto aditivo, ya que los más altos valores de ACE no pertenecen a los progenitores hembras y machos, esto se debe a que el rendimiento de grano parece ser principalmente del tipo no aditivo, sugiriendo que el mejoramiento por selección para incrementar el rendimiento sería inefectiva en generaciones tempranas; sin embargo se esperaría una alta respuesta heterótica por hibridación (Peña-Ramos *et al.*, 2004).

De manera general se puede observar que existen líneas tanto machos como hembras con buenas características agronómicas que pueden ser usadas en programas de mejoramiento para mejorar aún más dichas características o bien utilizarlas directamente en la producción de híbridos y aquellas líneas con

características desfavorables se pueden mejorar por selección, aprovechando la presencia de genes con acción aditiva

Aptitud Combinatoria Específica

En el cuadro 2.6 se presentan los resultados para la variable rendimiento de grano para los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) en las mejores cruzas destacan: AN39XIA9, AN34XIA57, y IA36XIA57 con valores de 1,986.67, 1,614.58 y 1,439.43. Estos resultados indican que los progenitores con más altos valores de ACG no necesariamente presentan los valores más altos de ACE, ya que no existe correlación entre los valores aditivos y las desviaciones de dominancia, cuando en cruzas específicas participan ambos progenitores o al menos uno con efecto de ACG positivo, las combinaciones pueden ser adecuadas, ya que en este estudio resultaron superiores en rendimiento de grano, el caso en que en la cruce entre un progenitor con alto valor de ACG y uno de mediana ACG puede combinar mejor y producir híbridos con efectos más altos de ACE (Pech *et al.*, 2010) en un estudio en *Capsicum*, lo cual es consistente con resultados del presente estudio. Cuando en la cruce intervienen ambos progenitores con efectos negativos de ACG no se consideran buenos combinadores, ya que la mayoría de los valores negativos de ACE lo presentaron combinaciones con bajos rendimientos de progenitores con ACG bajo. Generalmente las líneas que aparecieron con más frecuencia en los híbridos sobresalientes y en sus respectivas cruzas específicas son las que obtuvieron los valores más altos de ACG, coincidiendo a lo reportado por Guerrero *et al.* (2012).

Cuadro 2.6. Aptitud Combinatoria Específica para rendimiento

	1A28	IA9	RTX433	14-3	124-2	IA52	IA57
A2	917.86	-875.52	-421.56	365.09	749.39	-638.72	-51.24
AN35	-807.42	1,053.53	1,319.53	-550.19	-44.23	847	-1,818.19
AN34	683.34	-560.04	57.96	-611.09	340.2	-1,524.9	1,614.58
AN39	-981.94	1,986.67	-773.66	192.62	-1,344.75	1,126.48	-205.38
IA36	-1,152.13	-776.85	1,299.82	37.1	-530.61	-316.71	1,439.43
A625	1,125.62	-978.76	-1,104.1	1,186.5	1,024.48	-308.96	-944.82
AN635	214.73	151.01	-377.66	-620.04	-194.42	860.81	-34.38

En el cuadro 2.7 se muestran todas las cruzas y los resultados se muestran aquí que la mejor craza es el IA36 X IA52 seguida de las otras que son AN35 X IA52 y AN34 X IA9. Para tamaño de panoja.

Cuadro 2.7. Aptitud Combinatoria Específica para tamaño de panoja

	1A28	IA9	RTX433	14-3	124-2	IA52	IA57
A2	0.24	-1.04	0.45	-0.59	-0.17	0.79	0.36
AN35	-1.83	1.18	-1.79	-0.33	-0.51	2.09	1.23
AN34	0.99	2.01	0.17	-2.31	-0.92	-0.19	0.28
AN39	1.11	1.29	-0.08	1.88	-0.2	-1.47	-2.47
IA36	-1.25	0.73	-0.34	1.45	-0.52	7.27	0.71
A625	1.97	-3.21	0.45	0.31	0.93	-0.41	-0.03
AN635	-1.18	-0.96	1.16	-0.34	1.45	-0.06	-0.02

En el cuadro 2.8 se muestran todas las cruzas de los progenitores hembras y machos para lo que es altura de planta y las mejores cruzas son las siguientes: AN34 X IA28 y IA36 X RTX433

Cuadro 2.8 Aptitud Combinatoria Especifica para altura de planta

	1A28	IA9	RTX433	14-3	124-2	IA52	IA57
A2	4.33	-7.67	2.47	-2.72	-2.39	-0.72	-0.29
AN35	3.13	5.13	-7.06	-9.92	-7.25	9.75	6.18
AN34	14.61	4.28	-1.58	-10.11	10.23	-10.43	-7
AN39	-3.24	2.71	3.85	9.65	-9.01	-2.34	-1.58
IA36	-18.1	-5.44	11.71	9.18	-12.51	-9.15	-0.72
A625	1.28	7.28	0.76	-0.44	-6.77	3.57	-5.67
AN635	-1.96	-6.29	-10.15	4.32	2.66	9.33	2.09

CONCLUSIÓN

1.- Se encontraron diferencias altamente significativas para todas las variables destacando en rendimiento las cruzas experimentales A625 X 14-3, A2 x IA-28 y A625 X IA-28 con rendimientos de 8,243.07, 8,143.40 y 7,964.40 kg ha.⁻¹ respectivamente, el testigo se encuentra en el séptimo grupo con un rendimiento de 5,429.07403 kg ha⁻¹, la diferencia con el híbrido experimental más rendidor es de 2,813.996 kg.

2.- Los progenitores masculinos que presentaron los más altos valores de aptitud combinatoria general (ACG) son: IA28 y 14-3 y las hembras con valores más altos son: A2 y A625. Estos progenitores forman parte de los híbridos con mejores rendimientos.

Las líneas con valores más altos de ACG pueden ser utilizadas en la formación de nuevas poblaciones de líneas "R".

RESUMEN

En un programa de fitomejoramiento es importante incorporar líneas con características genéticas contrastantes para poder explotar al máximo las F1 de sus cruzas. Con el objetivo de examinar el comportamiento genético de la aptitud combinatoria específica y general, además de estudiar el comportamiento a través de sus cruzas. Se estableció esta investigación donde se utilizó un diseño de apareamiento ii de carolina del norte. Se formaron 49 cruzas posibles mismas que se evaluaron en un ensayo de rendimiento en la localidad de General Cepeda. Utilizándose un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Se analizó en un análisis individual para rendimiento con otros caracteres. De acuerdo con los resultados obtenidos, las líneas que se emplearon como machos y que mostraron el valor más alto de ACG fueron el 14-3 y el IA28

Los resultados demuestran que existen combinaciones de líneas que pueden ser utilizados con éxito en un programa de mejoramiento considerando el uso de líneas no emparentadas con características contrastantes para el desarrollo de híbridos, y así poder maximizar el comportamiento.

Palabras clave: *sorghum bicolor* L. Moench, Aptitud Combinatoria General, Aptitud Combinatoria Especifica, Diseño Il Carolina del Norte.

LITERATURA CITADA

- Allard, R.W. 1960. Principios de la mejora de las plantas. Editorial Omega, S.A. Barcelona España.
- Ángeles A., H. H. 1968. El maíz y el sorgo y sus programas de mejoramiento genético en México. *In: Memorias del Tercer Congreso Nacional de Fitogenética*. SOMEFI. Chapingo, México. pp: 425–446.
- Avalos, P.R.1983. Estimacion de parámetros genéticos en algunas características de sorgo para grano. Tesis M.C. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coah.
- Becker,W.A. 1986. Manual de genética cuantitativa. Primera edición en español. Academic Enterpirises. Pulman,WA. USA
- Brauer, Q.V. 1987. Fitogenetica aplicada. Los conocimientos de la herencia vegetal al servicio de la humanidad. Editorial Limusa, S.A de C.V. Mexico, D.F
- Chavez,A.J.L y Lopez, P.E. 1987. Mejoramiento de plantas II. U.A.A.A.N Buenavista saltillo Coahuila. Mexico.
- Cockerham, C.C. 1963. Implications of genetics variances in a hybrid breeding program. *cropSci*
- Cisneros–López, M. E., L. E. Mendoza–Onofre, G. Mora–Aguilera, L. Córdova–Téllez, and M. Livera–Muñoz. 2007a. Cold tolerant sorghum hybrids and parental lines. I: Seed quality and its effects on seedling establishment. *Agrociencia* 41: 45–55.

- Cisneros-López, M. E., L. E. Mendoza-Onofre, G. Mora-Aguilera, L. Córdova-Téllez, and M. Livera-Muñoz. 2007b. Cold tolerant sorghum hybrids and parental lines. II: *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg effects on seed yield and its components under field conditions. *Agrociencia* 41: 283–294.
- Davis, L.R. 1927. Report of the plant breeder. Rep. Puerto rico
- Dudley, J.W. 1969. Interpretation and use of estimates of heredability and genetic variances in plant breeding. *Crop sci.*
- Estrada G., A., y H. H. Ángeles A. 1975. Estimación de la aptitud combinatoria de líneas A y R de *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Agrociencia* 21: 77–90.
- Falconer, D. S. 1970. Introducción a la Genética Cuantitativa. Fidel Márquez Sánchez (trad.). Ed. CECSA. México. pp: 303–313.
- Fonseca, S., and F. L. Patterson. 1968. Hybrid vigor in a seven-parent diallel crosses in common winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop Sci.* 8: 85–88.
- Frey, K.J. 1971. Improving crop yields through plant breeding. *Amer. Soc. Agron. Spec.*
- Goldman, I. L. 1999. Inbreeding and outbreeding in the development of a modern heterosis concept. In: Coors, J. G., and S. Pandey (eds). *The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops*. ASA. CSSA. Madison, WI. USA. pp: 7–18.
- Gilbert, N.E. 1958. Diallel cross in plant breeding heredity. *12: 477-489. U.S.A*
- Griffing, B. 1956. Concepts of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aus. J. Biol. Sci.* 9
- Hallauer, A.R. and B.J. Miranda. 1981. *Quantitative genetics in maize breeding*. First edition. Iowa state university press. USA 467 p.
- Hanson, W.D. 1963. Heritability. In *Hanson, W.D and H.F. Robinson Statistical genetics and plant breeding*. Pub. 982

- Jones, D.F 1918. The effects of inbreeding and cross-breeding upon development. Connecticut Agrc. Exp. Stn
- Jugenheimer,R.W. 1981, maiz. Variedades mejoradas, metodos de cultivo y produccion de semillas. Editorial limusa
- Jan-Orn. 1976 Quantitative genetic studies of the NP3R random-mating graing sorghum population. cropSci.
- Karper,R.E. and Quinby. 1963. Sugary endosperm in sorghum.J. Heredity.54.
- Kenga, R., S. O. Alabi, and S. C. Gupta. 2004. Combining ability studies in tropical sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Field Crops Res. 88: 251–260.
- León V., Humberto. 2007. Evaluación de dos generaciones de híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío. Tesis Doctoral. Genética. Campus Montecillo. pp: 14–34.
- León V., H., L. E. Mendoza O., M. Livera M., and J. A. Estrada G. 1998. Phenology, seed yield and seed quality of cold tolerant sorghum restorer lines. Agrociencia 32: 339–347.
- León–Velasco, H., L. E. Mendoza–Onofre, F. Castillo–González, T. Cervantes–Santana, y Ángel Martínez–Garza. 2009. Evaluación de dos generaciones de híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío. I. Variabilidad genética y adaptabilidad. Agrociencia 43(5): 483–496.
- Livera M., M. y A, Carballo C. 1976–1977. Mejoramiento genético del sorgo *Sorghum bicolor* L. Moench por tolerancia al frío. Adaptación de genotipos tolerantes. Agric. Téc. Méx. 4(1): 77–99.
- Lopez, P.E.1986. Comparacion entre diferentes probadores para evaluar líneas de maíz. Universidad autónoma agraria “Antonio narro”
- Maman, N., S. C. Mason, D. J. Lyon, and P. Dhungana. 2004. Yield components of pearl millet and grain sorghum across environments in the Central Great Plains. Crop Sci. 44: 2138–2145.

- Martínez, G.A. 1983. Diseños y análisis de experimentos de cruzas dialelicas. Segunda edición. Colegio de postgraduados. Mexico.252.p
- Márquez, S.F. 1988. Genotecnia vegetal. Métodos, teoría, resultados. Tomo II. AGT. Edito, S.A, Mexico.
- Márquez, S.F. 1985. Genotecnia Vegetal. Tomo 1 primera edición Editorial A.G.T.S.A México.
- Mendoza O., L. E. 1983. Estudios fisiotécnicos de sorgo realizados en el Colegio de Postgraduados (México). Fitotecnia 5: 108–138.
- Mendoza O., L. E. 1988. Formación de híbridos de sorgo para grano. II. Comportamiento *per se* de las líneas y su aptitud combinatoria general. Rev. Fitotec. Mex. 11: 39–47.
- Mendoza–Onofre, L. E. 1992. Grain yield of the first cold tolerant sorghum hybrids developed in México. Sorghum Newsletter 33: 62.
- Menchaca, V.A. 1992. Estudio comparativo de 6 características en %) Híbridos de sorgo grano evaluadas en cuatro ambientes. Tesis profesional. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coah.
- Morgado, Q.M. 1999. Evaluación de 69 genotipos de sorgo para grano. Tesis de licenciatura. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coah.
- Namkoong, G. 1979. Introduction to quantitative genetics in forest. USDA. Forest service
- Nguyen, H T. 1983. Theory and application of halfsib mating in forage grass breeding
- Orozco M., F. J., y L. E. Mendoza O. 1983. Comparación de híbridos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] y algunos de sus progenitores. Agrociencia 53: 87–98.
- Osuna–Ortega, J., L. E. Mendoza–Onofre, F. Castillo–González, V. A. González–Hernández, M. del C. Mendoza–Castillo, H. Williams–Alanís, and M.

- Hernández–Martínez. 2001. Potential of cold tolerant germplasm in the adaptation and adaptability of grain sorghum in México: II. Río Bravo, Tamaulipas; and Celaya, Guanajuato. *Agrociencia* 35: 625–636.
- Osuna–Ortega, J., L. E. Mendoza–Onofre, V. A. González–Hernández, F. Castillo–González, M. del C. Mendoza–Castillo, and H. Williams–Alanís. 2000. Potential of cold tolerant germplasm in the adaptation and adaptability of sorghum in México: I. High Valleys. *Agrociencia* 34: 561–572.
- Pech May A, G C Nájera, J M Tun, M M Elos, J O Mijangos, A P Gutiérrez, L L Moreno (2010) Efectos heteróticos y aptitud combinatoria en poblaciones de chile dulce (*Capsicum annuum* L.). *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 33 (4): 353 – 360.
- Peña R., A., S. D. Kachman, J. D. Eastin y D. J. Andrews. 2004. Herencia del rendimiento, número y tamaño del grano en sorgo. *Rev. Fitotec. Mex.* 27: 149–156.
- Poehlman, J.M.1979. Mejoramiento genético de las cosechas. LIMUSA. México. P.301-315
- Quinby,J.R. and R.E. Karper.1954. Inheritance of height in sorghum. *Agron. J.* 46.
- Reyes, C.P. 1985. Fitogenotecnia basica y aplicada. Primera edicion. A.G.T. Editorial S.A Mexico, D.F.
- Robles, S.R.1990. Terminologia genética y fitogenetica. 4^a edicion, Editorial Trillas. Mexico, D.F.
- Rodríguez, A.J. del C. 2000. Estudios de heterosis en ocho características de sorgo para grano. Tesis profesional UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coah.
- Robinson,H.F. 1951. Estímate of heretability and the degree of dominance in corn.
- Russell,W.A.1974. Comparative perfomance for maize hybrids representing different ears of maize breeding

- Romo C., E. 1981. Sorgo. *In*: Logros y Aportaciones de la Investigación Agrícola en el Área de Influencia del CAEVAMEX. INIA–SARH. Chapingo, Estado de México. pp: 48–51.
- Ross,W.M. 1976. Quantitative characteristics of five sorghum bicolor. Moench. Random-mating populations. *Maydica*. 21
- SAS (Statistical Analysis System). 1999–2000. SAS® Proprietary Software Release 8.1 (TS1M0). SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA.
- Serrano C., L. M., L. E. Mendoza O., y F. Castillo G. 1994. Formación de híbridos de sorgo para grano. IV. Estimación de parámetros genéticos mediante diseños de apareamiento incompletos. *Rev. Fitotec. Mex.* 17: 20–30.
- Solanki, B. G., D. M. Patel, P. B. Patel, and R. T. Desai. 2007. Combining ability in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] for yield and its attributing traits (II). *Crop Res. (Hisar)*: 187–191.
- Sprague, G. F., and L. A. Tatum. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34: 923–932.
- Sprague, G.F.1960. Mejoramiento del maiz. Programa cooperative centroamericano para el mejoramiento del maiz. Mexico. 64 p.
- Stanfield, D.W 1978. Teoria y problemas de genética. Libros Mc Grahaw-hill.mexico, d.f.
- Tüsüz, M. A. 1997. Heterosis in sorghum. *In*: Book of Abstracts. The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops; an International Symposium. CIMMYT. México. pp: 326–327.
- Vasal, S.K.1993. Heterosis and combinig ability of CIMMYTS quality protein maize germoplasm II. Subtropical.
- Yu, J., and M. R. Tuinstra. 2001. Genetic analysis of seedling growth under cold temperature stress in grain sorghum. *Crop Sci.* 41: 1438–1443.