

**APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN CRUZAS EXPERIMENTALES
DE SORGO PARA GRANO**

NURY DEYANIRA GUTIÉRREZ PALACIOS

TESIS

Presentada como requisito parcial para

Obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

EN FITOMEJORAMIENTO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN CRUZAS EXPERIMENTALES
DE SORGO PARA GRANO**

TESIS POR

NURY DEYANIRA GUTIÉRREZ PALACIOS

Elaborada bajo la supervisión del Comité de Asesoría y aprobada como requisito parcial
para optar el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO

COMITÉ DE ASESORÍA

Asesor principal



Dr. José Espinoza Velázquez

Asesor



Dr. Armando Rodríguez García

Asesor

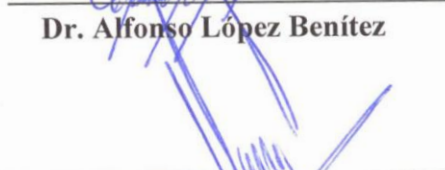


MC. Luis Ángel Muñoz Romero

Asesor



Dr. Alfonso López Benítez



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre de 2014

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por mi aceptación dentro del programa de becas y el apoyo económico brindado para realizar mis estudios de Maestría.

Al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) por el apoyo otorgado y seguimiento continuo de mis estudios de postgrado.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) por financiamiento otorgado para el desarrollo del proyecto de investigación; por haberme dado la formación, las herramientas y el entusiasmo para la realización y finalización exitosa de mis estudios y permitirme alcanzar una de mis metas fundamentales en mi vida profesional. Infinitas gracias.

Al Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), por el apoyo y permiso otorgado para realizar mis estudios de maestría en el extranjero y permitirme crecer profesionalmente.

Al Dr. José Espinoza Velázquez por ser mi asesor, por su orientación y enseñanza durante todo el proceso de mis estudios, por la asesoría, por su tiempo y dedicación, y apoyo brindado en el trabajo de investigación. Siempre estaré agradecida.

Al Dr. Armando Rodríguez García, por su total apoyo, su siempre disponibilidad, sus sugerencias, valiosas aportaciones y asesoramiento en mi preparación profesional y trabajo de tesis. Gracias por transmitirme el espíritu de seguridad.

Al MC. Luis Ángel Muñoz Romero por permitir mi participación en el Programa de Mejoramiento de Sorgo y proporcionarme el Material Genético para la realización de mi tesis, así como su asesoramiento.

Al Dr. Alfonso López Benítez por las aportaciones recibidas durante mi formación profesional y redacción de esta tesis.

Al Dr. Victor Zamora Villa por su incondicional apoyo y valiosa colaboración en la realización de mi tesis.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de Rio Bravo Tamaulipas, por facilitarme el establecimiento de un ensayo en sus parcelas experimentales, así como el apoyo técnico brindado.

De manera especial doy gracias al Dr. Noé Montes, MC. Eloy Vargas y MC. Olga Hernández por su total apoyo con el ensayo de sorgo en el INIFAP – Tamaulipas.

Atentos agradecimientos a mis profesores de Maestría que contribuyeron significativamente a mi formación profesional y personal.

Al Dr. Gilles Trouché (CIRAD-Francia), MC. Rafael Obando (INTA-Nicaragua) e Ing. René Clará (CENTA-El Salvador), por sus aportes científicos a mi formación profesional.

A los señores Elías, Sergio, Javier, por su constante ayuda en los trabajos de campo, así como a los señores Rogelio Burciaga y Jesús Zavala, por su apoyo.

A mis compañeros y amigos de Generación de la Maestría en Fitomejoramiento, Gaby, Lino, Julio, Alejandro, Yonis, por el compañerismo, apoyo, amistad y motivación en los momentos difíciles. Gracias por hacerme sonreír.

A mis compañeros y amigos de la maestría, Alondra, Agustín, Pilar, Gaby, José Luís, Odilón, Carlos, Samuel, Fabián, Marco, Paco. Gracias por el siempre apoyo, amistad, compañerismo y por regalarme momentos agradables.

A Grisel Vergara, estudiante de licenciatura por su entrega y colaboración en toda la fase experimental de la tesis.

A Antonio, Jesús, Luis Miguel, Giovanni y Gregorio, estudiantes de licenciatura, por su apoyo y amistad.

Al Dr. Fernando Zárate y Humberto Selvupeda (estudiante de posgrado-zootecnia), por su apoyo y recibimiento a mi llegada al país mexicano.

A la comunidad Mexicana por darme una estancia cálida y honorable con todos los derechos y libertad de desarrollarme como profesional y persona.

DEDICATORIAS

A Dios sobre todo, por permitirme lograr las metas que me propongo y por su voluntad perfecta.

Humildemente a mi esposo y a mi hijo Vladimir por su inexplicable sacrificio. Vladimir, tu valentía y madurez contribuyeron sin duda, a culminar exitosamente mi maestría en ciencias en fitomejoramiento, y perdona por los dos años que te he robado; te dedico mi tesis con todo mi amor.

A mis amados padres, Lilliam Morena Palacios e Ignacio Gutiérrez, por su amor, por los valores que me han enseñado, quienes desde siempre me han apoyado en cada área de mi vida, en mi formación personal y profesional.

A mis hermanos, Zobeyda, Itza, Ignacio, Joel y Lester, por su apoyo y cariño y estar siempre pendientes de mí.

A mis suegros, Sra. Dinora Obando y Sr. Feliciano Aragón, por sus consejos, apoyo, cariño. Por dedicar su tiempo a mi hijo.

COMPENDIO

APTITUD COMBINATORIA Y HETEROSIS EN CRUZAS EXPERIMENTALES DE
SORGO PARA GRANO

COMBINING ABILITY AND HETEROSIS IN GRAIN SORGHUM
EXPERIMENTAL CROSSES

POR

NURY DEYANIRA GUTIÉRREZ PALACIOS

MAESTRIA EN CIENCIAS

EN FITOMEJORAMIENTO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. DICIEMBRE, 2014

Dr. José Espinoza Velázquez – Asesor principal

Palabras clave: *Sorghum bicolor*, líneas endogámicas, aptitud combinatoria, heterosis, componentes del rendimiento.

En México, el sorgo representa un cultivo fuente de materia prima para la industria pecuaria de alimentos balanceados, permitiendo al mismo tiempo que se disponga de proteínas de origen animal para consumo humano; sin embargo es el principal importador de grano de sorgo en la actualidad, a pesar de ubicarse entre los cuatro mayores productores del mundo. En esta situación, es de valor contar con germoplasma fundación para derivar líneas complementarias y producir híbridos

competitivos. En este trabajo se generaron 49 cruzas, formadas durante el ciclo agrícola Primavera / Verano 2013 en la localidad Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, por medio de cruzas entre siete líneas hembras androestériles (A) y siete líneas machos restauradoras de la fertilidad (R), mediante el Diseño de Apareamiento Genético II de Carolina del Norte (7 x 7), con el propósito de: i) estimar la aptitud combinatoria general (ACG) en líneas, y específica (ACE) en cruzas, variables de rendimiento de grano y otras de importancia agronómica; ii) calificar jerárquicamente a las cruzas simples en función de la superioridad en heterosis para rendimiento de grano.

Las variables de respuesta fueron: días a floración (DF), altura de planta (AP), longitud de panoja (LP), excursión de panoja (EP), peso de mil granos (PMG), número de granos por panoja (NGP) y rendimiento de grano (RTO). Durante P / V – 2014, se establecieron ensayos de rendimiento en las localidades Rio Bravo, Tamaulipas, y Buenavista, Saltillo, México, incluyendo a progenitores, cruzas y testigos comerciales, para un total de 66 materiales. El diseño estadístico en las dos localidades fue en bloques completos al azar (BCA) con tres repeticiones, la parcela experimental fue de 1 surco de 5 metros de largo, con una distancia entre surco de 0.80 m. Se hizo un análisis de varianza (ANOVA) individual y combinado; la prueba de medias a través de Tukey ($\alpha = 0.05$), el cual permitió identificar materiales superiores en rendimiento y características agronómicas en ambientes contrastantes. El análisis genético fue con el diseño de apareamiento II Carolina del Norte (Comstock *et al.*, 1949), el cual permitió estimar la ACG de líneas y la ACE de cruzas. Con el cálculo de heterosis fue posible identificar híbridos superiores con respecto a la media de ambos progenitores. Los análisis estadísticos y genéticos se realizaron utilizando el paquete estadístico SAS (2001).

Los análisis estadísticos individuales por localidad indicaron diferencias del efecto tratamiento para todas las variables ($p \leq 0.01$), y a través de localidades, con diferencias significativas para la mayoría de las variables ($p \leq 0.01$), entre localidades (excepto NGP), entre tratamientos y en la interacción tratamiento con localidad (excepto AP). El rendimiento de grano (RTO) promedio obtenido en ambas localidades fue de 2.81 t ha^{-1} , con 3.61 t ha^{-1} en Rio Bravo, y 1.97 t ha^{-1} en Buenavista, atribuyéndose el bajo RTO de la segunda localidad a las condiciones desfavorables de temperaturas. El análisis genético identificó a los progenitores machos Pan 37 (0.54 t ha^{-1}) y 124-2 (0.52 t ha^{-1}) y las hembras B92 (0.29 t ha^{-1}) y B98 (0.25 t ha^{-1}) con los mayores efectos de ACG indicando la importancia de genes con acción aditiva en la expresión de las características evaluadas, y los más altos RTO, número de granos por panoja (NGP) y peso de mil granos (PMG). El NGP contribuyó al alto RTO de estos progenitores machos, y PMG contribuyó al RTO de las mejores hembras. Se observó una mayor similitud en cuanto al RTO entre los progenitores hembras que entre machos, sugiriendo que las combinaciones de los machos son los que influyen en el comportamiento de las cruzas.

Las cruzas que presentaron efectos positivos y altos de ACE para RTO y sus componentes fueron (A92 x 124-2, A98 x Pan 37, A96 x 124-2, A626 x Pan 37 y A68 x 124-2), también mostraron alta heterosis (117.07, 147.79, 93.53, 97.93 y 117.54 %) y superiores en RTO, donde las primeras dos cruzas superaron en 26 y 19 % al mejor testigo (83 G19 Pioneer). Estos resultados confirman que la presencia de genes con acción aditiva y de dominancia en germoplasma base son aprovechables para generar

buenas combinaciones híbridas y seleccionar las mejores para posibles aplicaciones comerciales.

COMPENDIUM

COMBINING ABILITY AND HETEROSIS IN GRAIN SORGHUM EXPERIMENTAL CROSSES

BY

NURY DEYANIRA GUTIÉRREZ PALACIOS

MAESTRIA EN CIENCIAS

EN FITOMEJORAMIENTO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. DICIEMBRE, 2014

Dr. José Espinoza Velázquez – Advisor

Key words: *Sorghum bicolor*, inbred lines combining ability, heterosis, yield components.

The sorghum is a basic crop in Mexico and a commodity for the livestock feedstuff industry, allowing a good source of animal protein for human consumption, however, Mexico is also the grain first importer, even though it is among the fourth producer worldwide. In such conditions, it is worth to count on foundation germplasm in order to generate complementary inbred lines for new hybrid varieties.

This research work is based on this line of thought, and depart from a base of 49 simple crosses which were derived during the Spring / Summer, 2013 in

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico using the North Carolina II mating design so that 7 x 7 crosses were done between male-sterile female inbred lines (A) and male restored inbred lines (R). The main objectives were i) to estimate lines general combining ability (GCA) and the crosses specific combining ability (SCA) for grain yield performance and others relevant agronomic variables; ii) to set up the simple crosses by means of their heterosis relevance for grain yield.

The response variables were: days to flower (DF), plant height (AP), Panicle length (LP), Panicle exertion (EP), Thousand grain weight (PMG), Panicle grain number (NGP) and Grain yield (RTO). The performance assays were located in Rio Bravo, Tamaulipas, and Buenavista, Saltillo, Mexico during the S / S – 2014, and included 66 genotypes, integrated by the parental lines, crosses and commercial witnesses. A complete blocks design (BCA), three replicates, was used in both locations, the experimental plot was a row, 5 m long and 0.8 m between rows. The data analysis was done throughout individually and combined ANOVA, means test with Tukey ($\alpha = 0.05$), which in turn led to identify yield superior crosses grown in largely different production environments. The genetic analysis was by the methodology of the method II of North Carolina (Comstock *et al.*, 1949), estimating GCA for lines and crosses SCA. By means of heterosis calculations the superior crosses were identified. Statistical analysis were performed using SAS (2001).

The statistical analysis by location identified differences for all traits, and along locations for most of the traits ($p \leq 0.01$), as well as between traits, exception to (NGP), and between traits and trait by locations interaction, (except to AP). The RTO in

both location analysis was 2.81 t ha^{-1} , and 3.61 t ha^{-1} in Rio Bravo, and 1.97 t ha^{-1} in Buenavista, this low yield because of the unfavorable temperatures conditions. The genetic analysis led to identify the male lines Pan 37 (0.54 t ha^{-1}) and 124-2 (0.52 t ha^{-1}), as well as the females B92 (0.29 t ha^{-1}) and B98 (0.25 t ha^{-1}) with the highest GCA effects underlying the additive gene action in the evaluated traits, the highest RTO, NGP and PMG. The NGP was the highest component to the best male's RTO, and so PMG for the best female's RTO. A greater yield similarities was observed among females RTO that the one in males suggesting that the male side are the ones that influence most the crosses performance.

The highest and positive SCA crosses for RTO and their components were A92 x 124-2; A98 x Pan 37; A96 x 124-2; A626 x Pan 37 and A68 x 124-2, which also showed high heterosis (117.07, 147.79, 93.53, 97.93 y 117.54 % respectively) and were high in RTO, such that the first two crosses were 26 and 19 % higher than the highest witness (83 G19 Pionner). These results confirm that the presence of additive gene action and dominance in basic germplasm can be worth use to generate hybrids to evaluate toward commercial applications.

INDICE

ÍNDICE DE CUADROS	xvi
ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE.....	xvii
ÍNICE DE FIGURAS.....	xviii
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	3
Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Origen de domesticación	4
Taxonomía, estructura floral y condición cromosómica	6
Hibridación en sorgo	8
Distribución mundial.....	9
Utilización del sorgo	10
Producción Mundial y Regional	12
Diseño de apareamiento II de Carolina del Norte	13
Heterosis	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
Material genético.....	21
Descripción de localidades	23
Diseño y unidad experimental	23
Manejo del cultivo.....	24
Variables de respuesta	25

Análisis estadístico.....	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
Análisis de varianza combinado de localidades.....	30
Comportamiento del rendimiento, sus componentes y características agronómicas a través de dos localidades.....	32
Análisis genético combinado de localidades.....	36
Comportamiento agronómico de los progenitores en promedio de cruzas.....	39
Comportamiento del rendimiento per sé e inter sé de los progenitores.....	42
Aptitud Combinatoria General.....	43
Aptitud Combinatoria Específica.....	49
Heterosis.....	53
V. CONCLUSIONES.....	57
VI. RESUMEN.....	59
VII. LITERATURA CITADA.....	62
VIII. APENDICE.....	71

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Listado de cruzas, progenitores y testigos	22
Cuadro 2.	Cuadrados medios y significancia estadística de los análisis de varianza combinado de genotipos de sorgo para diferentes características agronómicas estudiadas. Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014	31
Cuadro 3.	Combinado de rendimiento y características agronómicas de 14 cruzas sobresalientes generadas con el Diseño II de Carolina del Norte y dos testigos. Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014	35
Cuadro 4.	Cuadrados medios del análisis de varianza y nivel de significancia estadística, según análisis con el Diseño II de Carolina del Norte. Combinado de dos localidades, Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014	38
Cuadro 5.	Rendimiento y características agronómicas de líneas machos y hembras en promedio de cruzas. Diseño II de Carolina del Norte. Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014	41
Cuadro 6.	Índice de superioridad (P_i) <i>per sé</i> e <i>inter sé</i> de líneas machos y hembras para el rendimiento de grano a través de dos localidades. Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014	43
Cuadro 7.	Valores estimados de aptitud combinatoria general (ACG) de líneas de sorgo machos y hembras para siete características agronómicas. Diseño II de Carolina del Norte. Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014	47
Cuadro 8.	Aptitud combinatoria específica (ACE) de las mejores 12 cruzas de sorgo para siete características agronómicas. Diseño II de Carolina del Norte. Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014	51
Cuadro 9.	Porcentaje de heterosis de 11 híbridos sobresalientes de sorgo con respecto a la media de ambos progenitores. Diseño II de Carolina del Norte. Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014	54

ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro A.1	Promedio de rendimiento y características agronómicas de híbridos, líneas parentales y testigos. Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014	71
Cuadro A.2	Aptitud combinatoria específica (ACE) de 49 cruzas de sorgo para siete características agronómicas. Diseño II de Carolina del Norte. Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014	73
Cuadro A.3	Porcentaje de heterosis de híbridos de sorgo con respecto a la media de ambos progenitores. Diseño II de Carolina del Norte. Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014	75
Cuadro A.4	Cuadrados medios y significancia estadística de los análisis de varianza de genotipos de sorgo para siete características agronómicas estudiadas. Rio Bravo, Tamaulipas. 2014	77
Cuadro A.5	Promedio de rendimiento y características agronómicas de híbridos, líneas parentales y testigos. Rio Bravo, Tamaulipas. 2014	78
Cuadro A.6	Cuadrados medios y significancia estadística de los análisis de varianza de genotipos de sorgo para siete características agronómicas estudiadas. Buenavista, Coahuila. 2014	81
Cuadro A.7	Promedio de rendimiento y características agronómicas de híbridos, líneas parentales y testigos. Buenavista, Coahuila. 2014	81

ÍNICE DE FIGURAS

Figura 1. Temperaturas máximas y mínimas, de Buenavista, Coahuila y Rio Bravo, 33 Tamaulipas. Febrero – Septiembre, 2014

I. INTRODUCCIÓN

El Sorgo [*Sorghum bicolor* (L) Moench], es el quinto cereal más importante a nivel mundial después del trigo, maíz, arroz y cebada; y es ampliamente cultivado en las zonas tropicales semiáridas en muchos países de África, Asia y América Latina (Reddy *et al.*, 2011).

En México el sorgo ocupa el tercer lugar de superficie sembrada, debido a que se cultiva en zonas cálidas y secas, donde es difícil cultivar otros cereales alimenticios como el maíz y también por ser un cultivo que se puede manejar totalmente en forma mecanizada, permitiendo la siembra en grandes superficies.

El sorgo se ha convertido en un cultivo fuente de materia prima para la industria pecuaria de alimentos balanceados, lo cual a su vez permite que en el mercado alimentario se disponga de proteínas de origen animal para consumo humano (Hernández *et al.*, 2011).

México, como cuarto productor mundial, tiene una participación de 10 % de la producción mundial; sin embargo, es el principal importador de este grano con un volumen promedio de 1.15 millones de toneladas (SIAP, 2013), esta situación puede tomarse como un nicho de oportunidad para la generación de nuevas alternativas varietales que concurren a incrementar la producción nacional.

La reproducción sexual del sorgo es en su mayoría por autofecundación, dada la estructura floral en la panícula y sus pares de florecillas, de las cuales la florecilla perfecta sésil, está estructurada con un androceo de tres anteras y un gineceo formado por un pistilo con dos estilos bifurcados, con estigmas bífidos plumosos, además de dos glumas, una lema vellosa, una pequeña palea, con una arista corta. La otra florecilla par contiene pedicelo y no posee estructura floral fértil (ICRISAT, 1997). Por esta razón, si se requiere producir materiales híbridos, es necesario el uso de la androesterilidad genética-citoplasmática

La condición androestéril fue descubierta por Stephens y Holland (1954), Maunder y Pickett (1959) y ubicada como un fenómeno controlado por uno o pocos genes. El fenómeno se aplica de manera generalizada en la obtención de sorgos híbridos. El método permite mejorar la aptitud combinatoria de líneas parentales, resultando en heterosis y en incrementos significativos en características fenotípicas como rendimiento, altura de planta y días a floración (Reddy *et al.*, 2006; Han *et al.*, 1991).

La estimación de los valores genéticos y patrones heteróticos se pueden lograr con diseños de apareamientos (genéticos), tal como los diseños dialélicos y el diseño II de Carolina del Norte (Sprague y Tatum, 1942; Comstock *et al.*, 1949).

En relación a lo anterior, el Programa de mejoramiento de sorgo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) ha trabajado en la selección líneas endogámicas progenitoras (A, B y R) de alto valor genético adecuadas para la hibridación e identificación de híbridos prometedores de alto potencial de rendimiento, de buenas características agronómicas. Por esta razón, el presente estudio se enfoca en la

evaluación de aptitud combinatoria y heterosis en cruzas experimentales de sorgo para grano con la finalidad de evaluar sus capacidades productivas, y su eventual adopción por los agricultores de sorgo.

Objetivos

1. Estimar la aptitud combinatoria, general (ACG) en líneas, y específica (ACE) en cruzas, para variables de rendimiento de grano y otras de importancia agronómica.
2. Calificar jerárquicamente a las cruzas simples en función de la superioridad en heterosis para rendimiento de grano.

Hipótesis

1. Del conjunto de líneas disponibles existen algunas que poseen buena aptitud combinatoria y con las cuales pueden formarse híbridos con características agronómicas sobresalientes.
2. Al menos un híbrido de todo el conjunto a evaluar presenta alta heterosis en caracteres de interés agronómico, mayormente de rendimiento por unidad de superficie.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Origen de domesticación

El sorgo es uno de los cereales de mayor importancia económica en el mundo, ya que a nivel mundial hay un pequeño número de granos que suplen aproximadamente el 85 % de la energía de los alimentos en el mundo, donde solamente otros cuatro cultivos (arroz, trigo, maíz y patatas), se consumen más que el sorgo. Su origen y domesticación se dio en el noreste de África (Etiopía y Egipto) para el año 3000 aC. (Harlan, 1971), luego se extendió a regiones cercanas al Mar Negro, Grecia, Europa Oriental, Asia menor, India y China aproximadamente en el año 300 dC (De Wet y Huckabay, 1967).

En México, la siembra de sorgo se inicia por los años de 1965-66, extendiéndose considerablemente de 1965 a 1980, adquiriendo gran importancia económica (Grobman, 1985).

Se han propuesto teorías basadas en evidencias arqueológicas para dilucidar la historia de la evolución del sorgo (Kimber, 2000). La primera hipótesis afirma el origen de una domesticación temprana que data entre 6000 aC y 3000 aC, desde la región occidental de África hasta Sudán y el lago Chad (Murdock, 1959; Mann *et al.*, 1983).

Sin embargo la teoría más aceptada es la de una domesticación más tarde en la misma región entre 1000 aC y 1 dC (Stemler, 1980; Wigboldus, 1990). Otra teoría denominada “Haaland hypothesis”, propone que todos los sorgos cultivados podrían haber surgido como resultado de la domesticación en la India de razas silvestres del sorgo Africano y que estas razas domesticadas fueron después reintroducidas al continente Africano (Haaland, 1995).

Todas las especies de *sorghum bicolor* (25 especies), subespecie *bicolor* tienen $2n = 2x = 20$ cromosomas y son descritas como anual, con tallos gruesos que alcanza 5 metros de altura, a menudo ramificado con muchos macollos. Las especies han sido clasificadas dentro de cinco razas básicas: *bicolor*, *guinea*, *caudatum*, *kafir* y *durra*, con diez razas intermedias que son también reconocidas (Harlan y de Wet, 1972).

Recientes análisis filogenéticos de todas las 25 especies de sorgo basadas en tres secuencias de genes ITS1, *ndhF*, y *Adh1*, han identificado a *Sorghum macrospermum* y *Sorghum laxiflorum* (especies no domesticadas) más cercanamente relacionadas con variedades de sorgo cultivadas (Dillon *et al.*, 2007).

Según Quinby y Martín (1954), la llegada del sorgo a varias partes del continente americano fue a través de barcos dedicados al comercio de esclavos en el siglo XVIII. Al principio, los tipos guinea criollos, sensibles al fotoperíodo (maicillos

criollos) fueron llevados a América Central provenientes de África Occidental, Central y Sur, como alimento para los esclavos.

Hay poca documentación sobre cómo llegaron los sorgos a Nicaragua, pero se sabe que los descendientes de la tribu los Chorotegas utilizaban el sorgo millón también como criollo (D'Almeida *et al.*, 1999).

Taxonomía, estructura floral y condición cromosómica

Clasificación de *Sorghum bicolor* (L.) Moench, según Doggett (Doggett, 1988).

Reino:	Plantae
Clase:	Liliopsidae (monocotiledónea)
Familia:	Poaceae (Gramíneae)
Tribu:	Andropogoneae
Subtribu:	Sorghastrae
Géneros:	<i>Sorghum</i> y <i>Cleisthne</i>
Subgéneros:	<i>Sorghum</i> (<i>Eusorghum</i>), <i>Parasorghum</i> , <i>Chaetosorghum</i> , <i>Stiposorghum</i> , <i>Sorghastrum</i> , <i>Heterosorghum</i> .
Grupos:	Halepencia y Arundinacea
Especies:	<i>Sorghum vulgare</i> , <i>Sorghum bicolor</i> , <i>S. arundinaceum</i> , <i>S. halepense</i> , <i>S. almun</i> y <i>S. propinquum</i> .

El sorgo es una planta señalada como importante desde hace varios siglos. En tiempo cercano al actual, Carlos Lineo (*Carl Nilsson Linaeus o Carolus Linnaeus o Carl von Linné*) describió en el libro “Species Plantarum” (1753, dos volúmenes) tres especies de sorgo cultivado: *Holcus sorghum*, *H. saccharatus*, y *H. bicolor*. Más adelante, Conrad Moench (1794: *Methodus plantas hortibotanicis et agri Marburgensis* Marburgo) distinguió el género *Sorghum* del género *Holcus*; en 1805 Persoon creó el nombre *Sorghum vulgare* para *H. sorghum* (L.). Y en 1961, Clayton consideró *Sorghum bicolor* (L.) Moench, como el nombre específico correcto de los sorgos cultivados y como tal ha sido aceptado desde entonces (Doggett, 1988; House, 1985).

La flor de la especie es incompleta, ya que no contiene algunas de las estructuras florales como pétalos y sépalos, sólo estambres y pistilos, dispuestos en la misma estructura floral, por lo que la flor es perfecta en su estructura reproductiva (ICRISAT, 1997). Cabe mencionar que la panícula es una inflorescencia con pares de florecillas, una sésil y otra con pedúnculo, la primera es la flor perfecta y la segunda es estéril.

Es una especie con autopolinización y con polinización cruzada a la vez, es decir, aunque el sorgo es principalmente autopolinizado, ocurren varios grados de polinización cruzada, normalmente cerca de 5 a 10 %; y es generalmente el resultado de que las flores se abran y expongan el estigma antes de que el polen se derrame y escurra sobre los estigmas (ICRISAT, 1997).

Hibridación en sorgo

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. Hasta 1932, la semilla híbrida sólo podía obtenerse después de una laboriosa emasculación manual (Quinby, 1974), por lo que fue necesario producir tipos androestériles. J. C. Stephens, inició investigaciones sobre sorgos híbridos en 1929, cuando descubrió en el pasto Sudán una línea sin anteras (Quinby, 1974). Ayyangar en India, así como Stephens y Glen H. Kuykendall, en Texas, aislaron otros ejemplares androestériles que prometían buenos resultados. En 1935, Stephens descubrió un macho estéril en Kafir Blackhull de Texas, que fue de origen genético, pero casi al mismo tiempo se encontró otro macho estéril genético todavía mejor, por lo que el anterior fue abandonado. Este nuevo macho estéril genético se usó como progenitor hembra de híbridos, que al compararse con las variedades en uso, mostraron 40 % de aumento en rendimiento (Quinby, 1974).

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 el costo de la producción de semilla. El siguiente procedimiento se basó en la utilización del material genético androestéril obtenido de la variedad “Day”, en 1943, por Glen H. Kuykendall (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 citoplasmática (Stephens y Holland, 1954), lo cual permitió explotar la heterosis y producir semilla híbrida en forma práctica y a bajo costo. En EUA, en 1957 se sembró con híbridos el 15 % de la superficie dedicada a este cultivo y para 1960 el 95 % (Quinby, 1974). En 1956, cuando los híbridos no se empleaban en gran escala, el rendimiento promedio en EUA era de 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 (Quinby y Schertz, 1975).

Distribución mundial

En África occidental y central, el sorgo se cultiva en la faja comprendida entre el desierto del Sahara en el norte y los bosques ecuatoriales en el sur. En el África oriental y austral, se cultiva en regiones más áridas. Nigeria y el Sudán son los principales productores de África, pero el sorgo está muy extendido por todo el continente. En Asia, la producción está más concentrada desde el punto de vista geográfico, donde, China y la India producen el 94 % del total regional (<http://www.fao.org/docrep>).

En la región de América Central y el Caribe, la producción está dominada por México (90 % de la producción regional total, con un volumen de producción 7.0 millones de toneladas en el ciclo 2014/2015; Y en América del Sur se concentra en Argentina (60 % del total de la región, con una producción de 4.2 millones de toneladas

en los ciclos 2014/2015 y en las zonas áridas del Brasil, el norte de Colombia y Venezuela.

Casi un tercio de la producción mundial de sorgo corresponde a los países desarrollados. En América del Norte se cultiva principalmente en Kansas, Texas y Nebraska. Estados Unidos es el primer productor del mundo, con más del 25 % de la producción total, registrándose para el ciclo 2014/2015 una producción de 10,250 toneladas. En Europa, sólo se cultiva el sorgo en algunas zonas de Francia, Italia y España. Por lo que respecta a Oceanía, Australia es el único productor de cierta importancia (<http://www.fao.org/docrep>).

Utilización del sorgo

El grano de sorgo es caracterizado por su alto valor energético y alimenticio. En EEUU y Europa, se utilizan los tallos y follaje del sorgo para la elaboración de ensilajes, heno y pasturas en la alimentación del ganado vacuno y más recientemente en los EEUU como materia prima para la industria de combustibles renovables y en los mercados para alimentos libres de gluten. En África y en la India es una parte importante en la dieta humana, en la forma de pan sin levadura, atole, palomitas y cervezas, etc. El sorgo granifero se ha convertido en un cultivo potencial para la alimentación del ganado vacuno en Europa (Berenji and Dahlberg, 2004).

Los sorgos dulces son altos, de tallo grueso, tienen alto rendimiento de materia seca y usualmente son utilizados para la producción de azúcar. En los EEUU, estos

sorgos son usados para producir jarabes. Los híbridos de sorgo forrajeros (sorgo de grano cruzado con pasto Sudán) son más frondosos y de rápido crecimiento, de múltiples cortes, se utiliza como alimento fresco, ensilajes, heno, pacas o pastoreo (Dahlberg *et al.*, 2011).

El sorgo escobero es especialmente reconocido por el largo de su panoja, que se compone de largas y finas ramas llamadas fibras con semillas en sus puntas y se utiliza para la fabricación de escobas (Berenji and Kişgeci, 1996). Esta utilización generalizada del sorgo se basa en su diversidad genética.

En México, el sorgo es uno de los granos principales. Su importancia radica en que proporciona materia prima a la industria generadora de alimentos balanceados para animales, donde el 99 % del sorgo se usa para alimentar el hato ganadero (Hernández *et al.*, 2011), la cual, a su vez permite que en el mercado alimentario se disponga de proteínas de origen animal.

En Nicaragua, es un cultivo alimenticio de gran importancia, principalmente en la demanda de la elaboración de alimentos para la industria avícola, porcina y bovina, también para el consumo humano en sustitución del maíz, mediante productos como tortilla, chicha, turrone, rosquetes, atole y su harina presenta buenas perspectivas en la elaboración de platillos típicos (Pineda, 1997).

Producción Mundial y Regional

La producción mundial del cultivo de sorgo, viene experimentando una tendencia decreciente a lo largo de los últimos años, ya que en los ciclos anuales de 2008/09 a 2012/13, la producción en millones de toneladas fue de 64.0, 54.1, 62.5, 54.0 y 57.4, respectivamente (USDA, 2013).

En el ciclo 2011/12, la India ocupó el primer lugar con una participación en la producción mundial de 12.9 %, seguido por Nigeria (12.7 %), Estados Unidos (11.8 %), México (10 %), Argentina (8 %), Sudán (7.9 %) (FAO, 2013).

En el ciclo P/V 2009 en México, la producción alcanzó 6.1 millones de toneladas, en comparación con 5.8 millones en el 2000. Para 2010, las cifras se proyectaron hacia un incremento de 14.1 %, llegando a 7.0 millones de toneladas (SIAP-SAGARPA, 2011).

La superficie sembrada de sorgo en 2010 fue de 2 102 959 ha, con una producción de 6 365 000 t de grano y 4 391 000 t de forraje verde; se cultiva en 29 estados en 1.95 millones de hectáreas (SIAP, 2013), sobresaliendo el estado de Tamaulipas con 48.1% de esta superficie, seguido por Guanajuato, Sinaloa, Michoacán y Nayarit, con el 13.3, 12.9, 6.2 y 3.2 %, respectivamente.

El sorgo en Nicaragua ocupa alrededor del 18 % de la superficie sembrada con granos básicos, lo que lo cataloga como un grano de gran importancia para el país.

Alrededor del 60 % de la producción se utiliza para la elaboración de alimentos concentrados para la avicultura y el resto para el consumo humano. Es el cereal que le sigue al Maíz tanto en área como en volumen de producción.

En la época de postrera (ciclo agrícola agosto-diciembre) 2010/11, se sembró una superficie de 31.1 miles de manzanas (21,855 ha), con una producción de 1,373.8 miles de quintales (62,471.5 t) (MAGFOR, 2011). Con rendimiento promedio de 2.8 t ha⁻¹. Esta producción se obtiene en una gran diversidad de sistemas productivos y explotaciones agrícolas, incluyendo las fincas ganaderas.

Diseño de apareamiento II de Carolina del Norte

En el proceso de construcción de las bases científicas para el mejoramiento moderno de plantas, fue necesario desarrollar procedimientos acordes a los planteamientos teóricos, genético-estadísticos, que permitieran resultados experimentales para validar a los primeros. Con este propósito, se desarrollaron sistemas de apareamiento o diseños genéticos para conocer la acción génica de caracteres métricos o cuantitativos, y poder determinar la aptitud combinatoria de los progenitores, seleccionar los mejores genotipos y diseñar métodos de mejoramiento más eficientes (Comstock y Robinson, 1948).

Los diseños genéticos son planes de cruzamiento entre individuos de una población o líneas de alta endogamia, familias o variedades. El diseño de apareamiento factorial o diseño II es una modificación del diseño I de Carolina del Norte, propuesto

por Comstock y Robinson en 1948 (Márquez, 1985). En este diseño se toman al azar de la población **m** machos y **h** hembras realizando cruza $m \times h$, resultando igual cantidad de familias de hermanos completos (Hallauer y Miranda, 1988). Por consiguiente, este arreglo 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, aunque no necesariamente.

El diseño II de Carolina del Norte, además de estudiar los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), es también útil para estimar los efectos maternos y tiene ventajas sobre el dialélico cuando varios progenitores están involucrados. Por medio de éste diseño se podría estimar tanto el rendimiento, como también, otras características secundarias de ambos progenitores (hembra y macho), a través de su comportamiento híbrido (Hallauer y Miranda, 1988). Esto es de utilidad ya que generalmente los efectos maternos si no se controlan, podrían sobrestimar la varianza de la ACG para rendimiento y otras características secundarias.

En términos descriptivos, este diseño, utiliza dos conjuntos de líneas, el primero funciona únicamente como macho y el segundo como hembra. Cada uno de los machos es cruzado con cada una de las hembras. La variación fenotípica obtenida de estas cruza se divide de acuerdo con: i) diferencias entre machos, ii) diferencias entre hembras, iii) interacción entre machos y hembras (Hinkelmann *et al.*, 2011). Los cuadrados medios de las hembras y de los machos proporcionan estimados independientes del componente aditivo de variación y los cuadrados medios de la interacción entre los rendimientos de las hembras y de los machos es un estimado de la varianza genética no aditiva.

Varias investigaciones han utilizado el diseño II de Carolina para estudiar los efectos genéticos y estimar sus parámetros. En ese sentido, Tadesse *et al.* (2008) en un estudio de líneas de sorgo introducidas, identificaron progenitores machos con presencia de genes con acción génica aditiva para todas las características morfo-agronómicas, no así para progenitores hembras; y efectos de ACE no significativas. Por otra parte, Makanda *et al.* (2010) encontraron en germoplasma de sorgo para grano, efectos de ACG y ACE significativo, es decir, tanto genes con acción aditiva y no aditiva fueron importantes para características agronómicas.

Reportes en líneas de maíz, publicados en Luna-Ortega *et al.* (2013) y Wong *et al.* (2007), encontraron machos y hembras con altos y positivos valores de ACG, así como ACE alta y positiva para la mayoría de las cruzas en la variable rendimiento de grano y sus componentes; similares resultados observaron Guerrero-Guerrero *et al.* (2011), en dos grupos de líneas de maíz; Palemón *et al.* (2012), en cruzas intervarietales de maíz.

Aptitud Combinatoria

La aptitud combinatoria de una línea se basa en la aptitud de la misma para producir híbridos superiores en combinación con otras líneas. La aptitud combinatoria general (ACG) fue definida por Sprague y Tatum (1942) como el rendimiento promedio de una línea o genotipo en combinaciones híbridas en un grupo de líneas diferentes a la primera, mientras que la aptitud combinatoria específica (ACE) está definida para los casos en los que combinaciones híbridas entre dos líneas particulares tienen un

desempeño mejor o peor que el esperado sobre la base del rendimiento promedio; tanto ACG como ACE son útiles para seleccionar progenitores e híbridos de sorgo.

El mejoramiento genético es un proceso continuo en la formación de nuevas variedades e híbridos con buen potencial de rendimiento; el conocimiento de los diversos tipos de acción génica y la importancia de éstos en la determinación de caracteres de interés, es básico para lograr avances rápidos en un programa destinado a la obtención de híbridos (Wong et al., 2007).

Para el desarrollo de híbridos de sorgo es necesaria la evaluación del comportamiento *per sé* de las líneas, así como el de su ACG y ACE (Poehlman, 2005).

Pech *et al.* (2010) afirmaron que no se puede generalizar que al cruzar un progenitor de bajo valor de ACG con otro de alto efecto de ACG se genere un híbrido con una buena respuesta de ACE, pero se puede afirmar que si el efecto de ACG de un progenitor es negativo, la ACE de sus cruzas será negativa, o positiva pero de magnitud pequeña. Los autores también infieren que al cruzar entre sí a progenitores con buena ACG, la progenie manifiesta una ACE alta, aunque algunas cruzas 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.

Según Zewdie y Bosland (2000), los valores positivos de ACG pueden ser interpretados como una manifestación de la variabilidad presente en los progenitores, y que puede ser transmitida a su progenie. En este orden de ideas, Zewdie *et al.* (2000), afirmaron que con base en la ACG de los padres se puede predecir la contribución que

cada uno de ellos hará a su progenie. Esto permitiría seleccionar plantas que combinen las características superiores de los progenitores, así como predecir las cruzas con mayor potencial.

Por su parte, Zewdie y Bosland (2000) señalaron que con buenos valores de ACG y ACE de padres y sus cruzas, se pueden definir los métodos de mejoramiento más apropiados para aprovechar alelos favorables.

Con relación al tipo de acción génica que determina la aptitud combinatoria de las líneas, se considera que la ACG determina la porción aditiva de los efectos genéticos, en tanto que la ACE los efectos no aditivos, esto es la acción génica de dominancia y epistasis.

El efecto génico en el valor de una característica cuantitativa puede estar representado como la suma de los efectos génicos aditivos más los no aditivos (Falconer y Mackay, 1996).

Los estimados del efecto aditivo en una característica cuantifican la proporción de su varianza, la cual se da debido a alelos individuales, varios loci, independientes de los efectos de otros alelos en el mismo locus o en otros loci. El efecto no aditivo se da debido a las interacciones entre alelos; incluye efectos de dominancia que se derivan de interacción entre alelos en el mismo locus; los efectos epistáticos, los cuales dependen de interacciones interalélicas, de alelos en múltiples loci (Falconer y Mackay, 1996).

La varianza aditiva se puede estimar a través de familias de medios hermanos, mientras que la dominancia se estima utilizando familias de autohermanos y hermanos completos (Márquez, 1985; Hallauer y Miranda, 1988).

Heterosis

El importante tema del vigor híbrido o heterosis puede definirse como la expresión de un carácter en la progenie más allá de los límites de expresión manifestada en sus progenitores que tiene origen en los efectos genéticos principalmente de dominancia y en la diferencia genotípica de frecuencias génicas (Falconer y Mackay, 1996). La heterosis ha sido ampliamente utilizada en programas de mejoramiento de muchos cultivos para la identificación de poblaciones genéticamente divergentes, como base para el desarrollo de líneas endogámicas a ser usadas en cruzamientos F_1 (Hallauer y Miranda, 1988).

Según Han *et al.* (1991) los valores bajos o negativos de heterosis podrían deberse a insuficiente diversidad genética entre las poblaciones y a mayor variabilidad genética dentro de poblaciones. La información de respuesta heterótica es un requerimiento importante para incrementar la eficiencia en la hibridación, dada la importancia de combinar progenitores endogámicos (endocriados) y no endogámicos o una combinación de ambos (Guerrero *et al.*, 2012).

El mayor vigor híbrido se debe a la presencia en el cigoto de un número mayor de genes dominantes, en condición heterocigota, que en los progenitores, por reunirse los genes dominantes aportados por éstos para ser expresados de esta manera los efectos de la sobredominancia en la progenie; indicando que hay una mayor frecuencia de genes con efectos de categoría no aditiva (Hallauer y Miranda, 1988).

En sorgo, la heterosis puede manifestarse mediante floración más precoz, mayor número de hojas, porte y amacollamiento, semillas más pesadas, mayor producción de grano, mayor velocidad de emergencia, vigor y peso seco de plántulas (Cisneros-López *et al.*, 2007). El híbrido de sorgo explota la heterosis de la cruce de una línea A androestéril con una línea R fértil restauradora de la fertilidad masculina.

En evaluaciones independientes, Cisneros-López *et al.* (2007) y León-Velasco *et al.* (2009), en híbridos de sorgo de segunda generación encontraron valores promedios de heterosis de 35 y 47 %, respectivamente para rendimiento de grano, atribuyendo la mayor amplitud de heterosis a diversidad amplia de las líneas que intervienen en las cruces.

Otros estudios reportaron valores diversos de heterosis en híbridos de sorgo para rendimiento de grano, como los encontrados en el rango de -24 a 176 % por Orozco y Mendoza (1983) atribuible a la variabilidad de las líneas introducidas, los reportados por Osuna *et al.* (2001) con valores de 26 a 173 %, explicado por el contraste genético entre las líneas progenitoras.

León-Velasco *et al.* (2009) encontraron valores de heterosis para peso de grano de sorgo de -2 a 51 % y para número de granos de -31 a 61 %. Por otra parte, Peña-

Ramos *et al.* (2004) observaron que la heterosis del peso de grano fue de menor amplitud que la de rendimiento de grano y número de grano, por lo que concluyeron que el número de granos es el componente que más contribuyó a la heterosis del rendimiento de grano.

III.MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

El material genético fue constituido por 49 cruzas, formadas durante el ciclo agrícola Primavera / Verano 2013 en la localidad de Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, por medio de cruzas entre siete líneas hembras androestériles (A) y siete líneas machos restauradoras de la fertilidad (R) pertenecientes al Programa de sorgo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN); los progenitores respectivos (14 materiales), dos híbridos comerciales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), y un híbrido comercial de marca internacional, en total 66 materiales.

La serie de cruzas se generó siguiendo el Diseño de Apareamiento Genético II de Carolina del Norte (7 x 7) Comstock *et al.* (1949), para ello se utilizaron dos conjuntos de líneas, el primero funcionó como macho y el segundo como hembra, donde cada uno de los machos se cruzó con cada una de las hembras, de este apareamiento se obtuvieron 49 cruzas. Estas cruzas simples, progenitores y tres testigos fue el material evaluado en dos ensayos de rendimiento (Cuadro 1).

Cuadro 1. Listado de cruzas, progenitores y testigos.

Entrada	Genotipos	Entrada	Genotipos
1	A92 x 14-3	34	A68 x 21-1
2	A92 x 12 A	35	A68 x Pan 37
3	A92 x 106-2	36	A626 x 14-3
4	A92 x 124-2	37	A626 x 12 A
5	A92 x IA28	38	A626 x 106-2
6	A92 x 21-1	39	A626 x 124-2
7	A92 x Pan 37	40	A626 x IA28
8	A98 x 14-3	41	A626 x 21-1
9	A98 x 12 A	42	A626 x Pan 37
10	A98 x 106-2	43	A625 x 14-3
11	A98 x 124-2	44	A625 x 12 A
12	A98 x IA28	45	A625 x 106-2
13	A98 x 21-1	46	A625 x 124-2
14	A98 x Pan 37	47	A625 x IA28
15	A96 x 14-3	48	A625 x 21-1
16	A96 x 12 A	49	A625 x Pan 37
17	A96 x 106-2	50	B92*
18	A96 x 124-2	51	B98*
19	A96 x IA28	52	B96*
20	A96 x 21-1	53	B16*
21	A96 x Pan 37	54	B68*
22	A16 x 14-3	55	B626*
23	A16 x 12 A	56	B625*
24	A16 x 106-2	57	14-3**
25	A16 x 124-2	58	12 A**
26	A16 x IA28	59	106-2**
27	A16 x 21-1	60	124-2**
28	A16 x Pan 37	61	IA28**
29	A68 x 14-3	62	21-1**
30	A68 x 12 A	63	Pan 37**

31	A68 x 106-2	64	RB Norteño (T)
32	A68 x 124-2	65	RB Huasteco (T)
33	A68 x IA28	66	83 G19 Pionner (T)

*Línea hembra (A); **Línea macho (R); T: testigos (híbridos comerciales).

Descripción de localidades

Los ensayos de rendimiento se establecieron en dos localidades: Río Bravo, Tamaulipas, en el Centro Experimental INIFAP, ubicado a los 25° 59' Norte y 98° 06' Oeste, con altitud de 139 msnm, temperatura media anual de 23.5 °C y precipitación pluvial promedio de 780 mm anuales, posee un clima muy cálido (www.inegi.org.mx); y en Buenavista, Saltillo, Coahuila, localizada a los 25° 22' Norte y 101° 02' Oeste, a una altitud de 1742 msnm, temperatura media anual de 19.8 °C, con precipitación promedio de 350 – 400 mm anuales, con clima semicálido (<http://www.uaaan.mx>).

Diseño y unidad experimental

El diseño estadístico fue en bloques completos al azar (BCA), con tres repeticiones en ambas localidades. La unidad experimental consistió en parcelas de 1 surco de 5 metros de largo, con una distancia entre surco de 0.80 m.

Manejo del cultivo

Siembra: La siembra en la localidad de Rio Bravo, Tamaulipas se realizó el 5 de marzo del 2014 con una sembradora de precisión, y en la localidad de Buenavista, Coahuila el 25 de abril del mismo año, manualmente a chorrillo. En las dos localidades, se raleó a los 20 días después de la emergencia dejando 12 plantas por metro lineal para una población de 250 mil plantas por hectárea.

Fertilización: La aplicación del fertilizante se realizó en forma fraccionada, aplicando 133 unidades de nitrógeno y 90 de P₂O₅ por hectárea al momento de la siembra y 45 días después de la emergencia el resto del nitrógeno (60 unidades), las fuentes utilizadas fueron Urea y MAP.

Riego: Se realizó un riego superficial en la localidad de Rio Bravo después de la siembra para garantizar la germinación; en la localidad de Buenavista, hubo una precipitación después de la siembra que garantizó la germinación y el desarrollo del material genético. Posteriormente, los riegos se suministraron en las dos localidades de acuerdo a los requerimientos del cultivo (fase vegetativa, floración y llenado de grano) y en función de las precipitaciones ocurridas. En Rio Bravo, el sistema de riego fue por gravedad y en Buenavista por goteo.

Control de plagas y malezas: Se realizó tres aplicaciones de Clorpirifos (nombre comercial: Lorsban 480), para control de Cogollero (*Spodoptera frugiperda*). El control de malezas se realizó manualmente a los 20, 40 y 60 días después de la emergencia.

Cosecha: Se cosechó diez días después de la madurez fisiológica por parcela, (considerando 4 m de surco para garantizar competencia completa), de forma manual en ambas localidades de estudio, cada parcela fue desgranada y pesada. Se tomó la humedad de una muestra de grano para determinar rendimiento al 15 % de humedad.

Variables de respuesta

Días a floración (DF): se registraron los días transcurridos desde el primer riego hasta la fecha cuando el 50 % de las plantas de la unidad experimental estaban liberando polen en un 50 % de la panoja.

Altura de planta (AP): Se midió en centímetros desde la base del tallo hasta el ápice de la panoja en una muestra de cinco plantas con competencia completa tomadas al azar por unidad experimental, para posteriormente obtener el promedio aritmético.

Longitud de panoja (LP): Se midió en centímetros desde la primera ramilla de la panoja hasta su ápice, sobre cinco plantas al azar de cada unidad experimental.

Excursión de panoja (EP): En una muestra de cinco plantas por unidad experimental se midió la longitud de excursión en centímetros desde la lígula de la hoja bandera hasta el primer nudo de las ramas del raquis de la panoja, obteniendo después el promedio aritmético.

Peso de mil granos (PMG): En cinco panojas tomadas al azar se contó una muestra de mil granos y se pesó en gramos, obteniéndose después el promedio aritmético.

Número de granos por panoja (NGP): Se desgranaron cinco panojas tomadas al azar de forma individual y se contabilizó el número de granos por panoja y se obtuvo el promedio aritmético.

Rendimiento de grano (RTO): Se cosechó y pesó cada parcela desgranada y se ajustó al 15 % de humedad. El contenido de humedad del grano fue medido usando un DICKEY-John mini GAG Plus moisture meter. La fórmula utilizada para calcular el rendimiento fue la siguiente:

$$t \text{ ha}^{-1} = [(peca \text{ m}^2 / \text{A.U}) * 10000 * (100 - \% \text{ H}) / 85] / 1000. \text{ Donde,}$$

$t \text{ ha}^{-1}$: Rendimiento de grano

$peca \text{ m}^2$: peso de campo de la parcela útil

A.U: es el área de la parcela útil equivalente a 3.2 m^2 (unidad experimental)

$(100 - \% \text{ H}) / 85$: humedad de los granos ajustados al 15 % de humedad

Análisis estadístico

El análisis de varianza (ANOVA), se realizó utilizando el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System), 2001.

Se realizó un análisis de varianza individual y combinado de acuerdo al diseño experimental BCA, a las variables en estudio, teniendo como modelo estadístico:

$$y_{ij} = \mu + B_j + T_i + E_{ij}$$

Donde:

y_{ij} = Valor observado del i-ésimo tratamiento del j-ésimo bloque

μ = Media general

B_j = Efecto del j-ésimo bloque

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento (genotipo)

E_{ij} = error experimental

Se realizó un análisis combinado (genotipos – localidades) para todas las variables, teniendo como modelo estadístico, según Le Clerg *et al.* (1967):

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + a_j + (ga)_{ij} + r_{jk} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Rendimiento promedio del i-ésimo genotipo en la k-ésima repetición del j-ésimo ambiente.

μ = variable promedio de los genotipos

g_i = Efecto del i-ésimo genotipo

a_j = Efecto del j-ésimo ambiente

$(ga)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el i-ésimo genotipo y el j-ésimo ambiente

r_{jk} = Efecto de la k-ésima repetición en el j-ésimo ambiente

ϵ_{ijk} = Efecto aleatorio del error asociado al i-ésimo genotipo en el j-ésimo ambiente y en la K-ésima repetición, según el modelo lineal aditivo

Para la comparación de medias se usó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

El análisis genético se realizó con el diseño de apareamiento Genético II Carolina del Norte (Comstock *et al.*, 1949) con efectos fijos, cuyo modelo lineal es:

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

Donde:

$i = 1, 2, \dots, m$ (machos); $j = 1, 2, \dots, h$ (hembras); $k = 1, 2, \dots, r$ (rep); Y_{ijk} = observación de la cruce entre el i-ésimo macho y la j-ésima hembra en la k-ésima repetición.

μ = Media general

M_i y H_j = Efecto del i-ésimo macho, y j-ésima hembra

Φ_{ij} = Efecto de la interacción del i-ésimo macho con la j-ésima hembra

ϵ_{ijk} = error experimental

La estimación de los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) para los machos y hembras, y la aptitud combinatoria específica (ACE) para las cruzas, se realizó según la propuesta de (Sprague y Tatum, 1942), donde:

$$g_i = \tilde{Y}_{i.} - \tilde{Y}_{..}$$

$$g_j = \tilde{Y}_{.j} - \tilde{Y}_{..}$$

$$S_{ij} = Y_{ij} - g_i - g_j - \tilde{Y}_{..}$$

Donde g_i , g_j y S_{ij} son los efectos de ACG y ACE, respectivamente para los i -machos, las j -hembras y sus ij cruzas. $\tilde{Y}_{i.}$ y $\tilde{Y}_{.j}$ son las medias de los machos y las hembras, Y_{ij} es el valor de la craza $i*j$ y $\tilde{Y}_{..}$ es la media de las $i * j$ cruzas.

La diferencia estadística entre las ACG de los progenitores machos y hembras y de las ACE de las cruzas, se determinó mediante la prueba de t o diferencia mínima significativa, $DMS\alpha = EE \times t(\alpha 2^{-1}, glee)$, donde ee = Error estándar en la comparación de medias; $EE = \sqrt{2CME (RM)^{-1}}$; R = repeticiones; M = Machos; H = Hembras; gl = Grados de libertad; y ee = Error experimental.

Para calcular la heterosis, se usó la fórmula: $H = (MF_1 - MP / MP) \times 100$; donde: MF_1 = valor promedio del carácter evaluado en el híbrido; MP = valor del progenitor medio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza combinado de localidades

Los análisis de varianza individuales muestran diferencias altamente significativas del efecto tratamiento para todas las variables agronómicas (A. 4 y A.6).

El análisis de varianza combinado de dos localidades de evaluación, permitió generar información sobre las diferencias existentes entre localidades, tratamientos e interacciones (Cuadro 2), donde se puede observar que localidades, repetición dentro de localidades, tratamientos, interacción tratamiento x localidad, mostraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para todas las variables, a excepción de altura de planta (AP) en las fuentes de variación repetición anidada en localidades y en la interacción tratamiento x localidad; en tanto que rendimiento de grano (RTO) no reflejó diferencia significativas en la fuente de variación repetición anidadas en localidades; Y número de granos por panoja (NGP) sin significancia en repeticiones dentro de localidades y en la fuente de variación localidades. La significancia estadística en localidades, sugiere una clara evidencia de las diferencias existentes entre los ambientes de evaluación. Las diferencias significativas detectadas en tratamientos indican que los genotipos son diferentes en cuanto a su comportamiento, lo cual puede deberse a las diferencias entre los progenitores utilizados y que al menos un genotipo (cruza) puede

ser superior con excelente potencial de rendimiento de grano y características agronómicas sobresalientes.

Cuadro 2 Cuadrados medios y significancia estadística de los análisis de varianza combinado de genotipos de sorgo para siete características agronómicas. Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014.

F.V	gl	RTO (kg t ⁻¹)	NGP	PMG (g)	DF (50%)	AP (cm)	EP (cm)	LP (cm)
Loc	1	276.4**	289517.6 ns	715.1**	31022.8**	56908.8**	1055.1**	183.8**
REP (Loc)	4	0.1 ns	85995.7 ns	41.2**	28.5**	308.9 ns	82.7**	20.5**
TRAT	65	2.8**	1461615.8**	83.4**	47.9**	6698.5**	76.5**	85.1**
TRAT x Loc	65	2.0**	852698.2**	27.7**	30.4**	192.1ns	20.4**	10.9**
ERROR	260	0.6	217432.6	7.5	9.9	161.8	8.5	5.9
Media		2.81	1747.4	24.1	88.26	135.53	6.44	26.27
R ²		0.78	0.73	0.81	0.93	0.92	0.78	0.81
C.V (%)		28.6	26.7	11.3	3.57	9.38	45.37	9.26

*, ** Significativo al 5 y 1 % ($P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$), respectivamente; gl = Grados de libertad; RTO = Rendimiento de grano en t ha⁻¹; NGP = Número de granos por panoja; PMG = Peso de mil granos en gramos; DF = Días a 50 % de floración; AP = Altura de planta en cm; EP = Excursión de panoja en cm; LP = Longitud de panoja en cm.

La interacción significativa de tratamiento con localidad, sugiere una respuesta diferencial de los genotipos a través de localidades, debido a las contrastantes condiciones ambientales presentes en cada sitio. Estos resultados fueron consistentes con los reportados por Chapman *et al.* (2000) y Makanda *et al.* (2010) en sorgo.

En general los resultados indican que los genotipos son diferentes entre sí, sugiriendo una amplia variabilidad genética que posibilita seleccionar los genotipos superiores.

Con respecto a los coeficientes de variación (C.V), en general fueron inferiores a 28.6 % (Cuadro 2), considerándose dentro de los rangos aceptables por ser evaluados en dos ambientes contrastantes, ya que reflejan la medida de precisión en la conducción de los experimentos (Luna-Ortega *et al.*, 2013). C.V inferiores a 25 % fueron reportados en maíz para rendimiento de grano (Ruiz-Ramírez, 2010). Para la variable de excersión de panoja (C.V % = 45.37), su alto valor se atribuye a que esta característica se ve muy influenciada por el medio ambiente (Luna-Ortega *et al.*, 2013).

Comportamiento del rendimiento, sus componentes y características agronómicas a través de dos localidades

Las diferencias en el comportamiento de temperaturas en ambas localidades (Figura 1) puede influir favorablemente en una localidad que en otra sobre el desempeño de los genotipos. Se observa que las temperaturas más bajas ocurrieron en Buenavista (5 – 14 °C) principalmente durante la etapa de establecimiento o emergencia (Abril-Mayo),

floración (Julio) y masa suave (Agosto); esta condición influye negativamente en la respuesta de los genotipos, ya que el sorgo es conocido por su sensibilidad al frío, principalmente con temperaturas inferiores a 15 °C (Osuna-Ortega *et al.*, 2003).

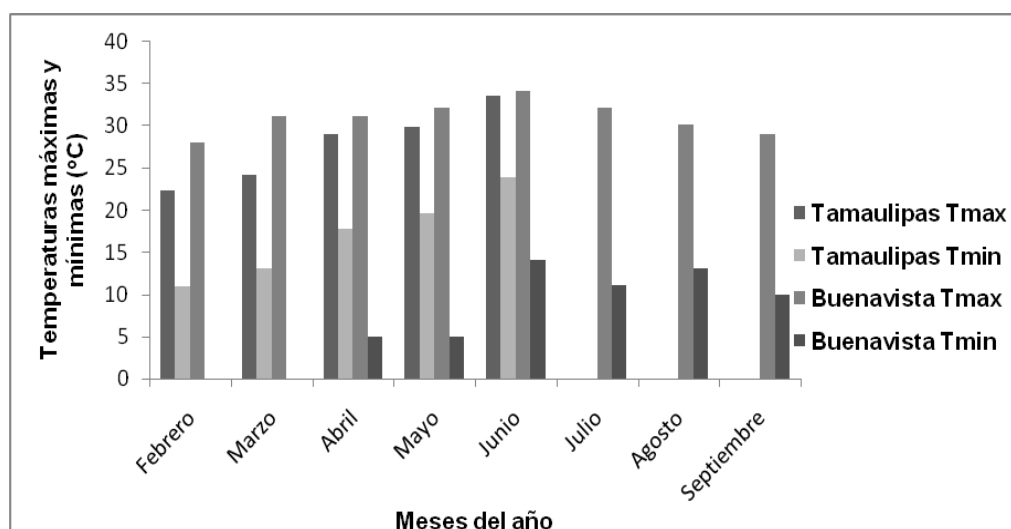


Figura 1. Temperaturas máximas y mínimas, de Buenavista, Coahuila y Rio Bravo, Tamaulipas. Febrero – Septiembre, 2014.

Fuente: <http://clima.inifap.gob.mx>; <http://www.uaaan.mx>

El rendimiento de grano promedio obtenido en ambas localidades (2.81 t ha^{-1}) fue superior a los encontrados en otras evaluaciones similares de sorgo para grano. Kumar *et al.* (2011) reportaron 2.64 t ha^{-1} ; Makanda *et al.* (2010) 2.1 t ha^{-1} en híbridos de sorgo para grano, respectivamente; e inferiores a lo reportado por Geremew *et al.* (2004) y De Almeida *et al.* (2013) con rendimientos de 3.5 y 4.4 t ha^{-1} , respectivamente.

En los análisis individuales por localidad (A.5 y A.7) Rio Bravo, presentó una media de RTO de 3.61 t ha^{-1} , mientras que Buenavista presentó 1.97 t ha^{-1} , el bajo RTO

de la segunda localidad se atribuye a las condiciones desfavorables de temperaturas que afectaron relativamente el desempeño de los genotipos (Figura 1). En el presente estudio el 63 % de las cruzas superaron a la media general del análisis combinado, donde la craza A92 x 124-2 obtuvo el mayor potencial de RTO con 4.45 t ha^{-1} , sin diferencias estadísticas con las cruzas A98 x Pan 37 y A98 x 124-2, que ocuparon el segundo y tercer lugar en rendimiento con 4.20 y 4.03 t ha^{-1} , respectivamente, sin diferencias estadísticas a lo demás genotipos presentados en el cuadro 3. Las tres cruzas en mención superaron en 26, 19 y 14 % al mejor testigo Pioneer (3.53 t ha^{-1}), en general diez cruzas superaron al mejor testigo en el rango de 3 a 26 % (Cuadro 3). Las cruzas A626 x 106-2 y A625 x 106-2, obtuvieron los menores RTO a través de localidades (Cuadro 3 y A.1). En general las diez cruzas sobresalientes superaron al resto de las cruzas, progenitores y a los testigos comerciales; además fueron ligeramente más precoces que los demás genotipos en estudio (A.1).

El mayor rendimiento de grano (RTO) de las mejores cruzas puede atribuirse a que tienen un mayor número de granos por panoja (NGP), a pesar que la craza A92 x 12A posee mayor peso de mil granos (PMG), rindió una tonelada menos en relación a la mejor craza (A92 x 124-2), debido a su menor NGP, comprobándose de ésta manera una correlación negativa entre PMG y NGP (Valadez-Gutiérrez *et al.*, 2006) y Peña-Ramos *et al.* (2004) para algunas cruzas.

Sin embargo, para A625 x 106-2, probablemente su bajo RTO se debió al menor PMG, ya que posee un adecuado NGP similar a las de las mejores cruzas. También se observó que ambos componentes del rendimiento contribuyeron

simultáneamente a incrementar el potencial de RTO de algunas cruzas tales como A92 x 124-2, A98 x Pan 37, A98 x 124-2, A16 x Pan 37, A92 x Pan 37 (Cuadro 3), que destacaron en RTO, con mayor NGP y mayor PMG, definiendo en conjunto el rendimiento. Resultados consistentes con reportes previos (Wong *et al.*, 2007; Borrás y Otegui, 2001) quienes reportaron que el peso de grano y cantidad de granos son los que determinan el rendimiento de cereales.

Cuadro 3. Análisis combinado de rendimiento y características agronómicas de 14 cruzas sobresalientes generadas con el Diseño II de Carolina del Norte y dos testigos. Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014.

Híbridos	RTO t ha ⁻¹	NGP (%)	PMG (g)	DF (50%)	AP (cm)	EP (cm)	LP (cm)	
A92 x 124-2	4.45 a	(26 %)	2092.3	29.7	86.33	150.63	10.33	26.85
A98 x Pan 37	4.20 ab	(19 %)	2392.3	31.1	88.17	229.33	7.92	23.42
A98 x 124-2	4.03 abc	(14 %)	2255.0	29.4	84.0	164.63	6.23	27.58
A16 x Pan 37	4.0 abcd	(13 %)	2441.8	32.8	87.17	205.82	8.5	24.68
A92 x Pan 37	3.94 abcd	(12 %)	2267.2	31.6	88.33	210.37	4.35	22.88
A96 x 124-2	3.89 abcde	(10 %)	1883.8	25.2	84.0	146.87	9.48	27.62
A626 x Pan 37	3.84 abcdef	(9 %)	2512.0	28.6	90.17	216.20	2.70	26.20
A68 x 124-2	3.72 abcdefg	(5 %)	2644.3	24.8	87.50	160.12	6.23	32.23
A98 x 14-3	3.70 abcdefg	(5 %)	1863.0	23.2	84.33	126.25	5.53	25.43
A98 x IA28	3.65 abcdefg	(3 %)	2167.0	23.6	83.33	124.43	5.0	24.0
83 G19 Pionner (T3)	3.53 abcdefgh		1438.8	26.3	85.33	118.63	10.73	27.13
A16 x IA28	3.39 abcdefghi		1607.5	24.2	85.67	127.28	8.32	24.90
A92 x 12 A	3.39 abcdefghi		1341.3	29.0	87.0	131.62	7.62	30.37
A96 x Pan 37	3.27 abcdefghi		2557.0	29.1	88.0	217.18	3.70	22.0
RB Norteño (T1)	3.22 abcdefghi		1172.0	28.2	84.67	128.53	12.55	21.75
A68 x IA28	3.20 abcdefghi		2587.3	20.5	91.0	122.20	4.52	33.03
A626 x 106-2	2.08 defghi		1517.0	18.6	92.0	134.37	2.72	25.0
A625 x 106-2	1.93 fghi		2199.0	19.4	94.83	124.37	0.40	31.17
Media	2.81		1747.4	24.1	88.26	135.53	6.44	26.27
C.V (%)	28.6		26.7	11.3	9.70	9.38	45.37	9.26

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); gl = Grados de libertad; RTO = Rendimiento de grano en t ha⁻¹; NGP = Número de granos por panoja; PMG = Peso de mil granos en gramos; DF = Días a 50 % de floración; AP = Altura de planta en cm; EP = Excursión de panoja en cm; LP = Longitud de panoja en cm.

Todas las cruzas presentaron altura de planta (AP) adecuada para los casos en que se requiera realizar cosecha mecanizada, con valores que varían de 111 a 164.63 cm, a excepción de siete cruzas que sobrepasan los 200 cm y no se considera una altura adecuada para los fines de cosecha mecanizada del grano. La mayoría de las cruzas tienen longitud de excursión (EP) deseable (Torres y Williams, 1985), con una media de 6.44 cm (Cuadro 3 y A.1).

En forma regular, los genotipos que tuvieron mayor número de granos, panojas de mayor longitud, fueron los más rendidores; pues se consideran los principales componentes del rendimiento de grano en sorgo (Maman *et al.*, 2004; Valadez-Gutiérrez *et al.*, 2006). De estos resultados se infiere la posibilidad de seleccionar cruzas que por sus características agronómicas deseables, pueden competir con los híbridos de casas comerciales.

Análisis genético combinado de localidades

El análisis genético (Cuadro 4), presentó diferencias estadísticas para localidades ($p \leq 0.01$), en todas las variables, a excepción del número de granos por panoja (NGP); indicando contrastes entre localidades en cuanto a condiciones ambientales, donde al menos una se caracteriza por presentar condiciones favorables para el desempeño de las cruzas. Con respecto a la varianza del macho ($_{M}ACG$) y varianza de la hembra ($_{H}ACG$) presentaron diferencias estadísticas para todas las variables ($p \leq 0.01$), lo cual indica que los efectos aditivos tuvieron gran impacto sobre

todas ellas, resultados acordes a los de Tadesse *et al.*, 2008. Por otra parte la interacción M x H (ACE) impactó significativamente a las variables ($p \leq 0.01$), con excepción del RTO y NGP, las cuales son muy determinante en la valoración económica de nuevos híbridos. En este caso debe tomarse en cuenta el gran contraste de las localidades como ambiente de producción para sorgo, lo que probablemente enmascaró dicho efecto. De cualquier manera, para la mayoría de las variables, los efectos de aptitud combinatoria encontrados sugieren la posibilidad de seleccionar progenitores superiores para aprovecharlos como patrón heterótico, porque probablemente combinen bien con otros genotipos y generen progenies competitivas, como indica Hallauer (1990), dado que existen diferencias entre los progenitores; también sugieren la oportunidad de obtener cruzas que se adapten y expresen su máximo potencial de rendimiento en ambientes contrastantes.

Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza y nivel de significancia estadística. Diseño II de Carolina del Norte. Combinado de localidades, Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014.

F.V	gl	RTO (t ha ⁻¹)	NGP	PMG (g)	DF (50%)	AP (cm)	EP (cm)	LP (cm)
Loc	1	230.8**	20835.5 ns	635.4**	22816.7**	41833.5**	692.8**	156.9**
REP (Loc)	4	0.8 ns	81500.9 ns	29.9**	9.8 ns	430.6**	50.6**	8.5 ns
M (ACG)	6	54.7**	5773714.3**	339.5**	92.0**	54691.5**	186.4**	56.2**
H (ACG)	6	13.4**	1636168.2**	206.2**	154.3**	485.6**	193.0**	300.1**
M x H (ACE)	36	35.2 ns	276766.4 ns	16.0**	12.4**	416.3**	17.3**	10.8**
M x Loc	6	43.3**	4326642.9**	111.8**	120.1**	106.6 ns	86.8**	24.7**
H x Loc	6	18.3**	225780.2 ns	53.1**	12.1 ns	67.5 ns	11.9 ns	1.4 ns
M x H x Loc	36	39.3*	593659.3**	11.4*	13.6**	166.3 ns	11.5 ns	8.6**
Error	192	133.3	231109.6	7.5	7.5	133.8	8.0	4.0
Total	293							
Media		3.01	1916.0	24.5	87.99	142.27	6.56	26.88
R ²		0.76	0.70	0.81	0.95	0.94	0.76	0.80
C.V (%)		27.7	25.1	11.2	3.11	8.13	43.16	7.47

*, ** Significativo al 5 y 1 % ($P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$), respectivamente. gl = Grados de libertad; RTO = Rendimiento de grano en t ha⁻¹; NGP = Número de granos por panoja; PMG = Peso de mil granos en gramos; DF = Días a 50 % de floración; AP = Altura de planta en cm; EP = Excursión de panoja en cm; LP = Longitud de panoja en cm.

Para la interacción macho por localidad (M x Loc) con diferencias altamente significativas para todas las variables ($p \leq 0.01$), indica que los progenitores machos respondieron de manera diferente ante los cambios en el ambiente, a excepción de AP. En el caso de la interacción hembra x localidad (H x Loc) solamente reveló significancia estadística para RTO y PMG, para las demás variables en estudio, indicó un comportamiento similar de los progenitores hembras ante los cambios del ambiente. La alta variabilidad de los progenitores machos para las diferentes características puede deberse a que ellos fueron desarrollados a partir de una base genética relativamente amplia (Tadesse *et al.*, 2008). Con respecto a la interacción macho x hembra x localidad

(M x H x Loc), hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para todas las variables medidas, a excepción de AP y EP (Cuadro 4). En general estos resultados demuestran diferencias en cuanto a efectos genéticos aditivos para los casos donde los progenitores hembras y machos reflejaron diferencias significativas, coincidiendo con Tadesse *et al.* (2008) y efectos de dominancia importante para los casos donde la interacción M x H fueron significativas.

Comportamiento agronómico de los progenitores en promedio de cruzas

El análisis combinado para los atributos agronómicos de siete progenitores machos y siete hembras en promedio de sus cruzas, permitió identificar progenitores superiores (Cuadro 5), donde los progenitores macho Pan 37 y 124-2 obtuvieron los mayores rendimientos (3.60 y 3.53 t ha^{-1}), estadísticamente igual entre ellos y a los machos IA28 y 14-3, quienes también sobresalieron en rendimiento (RTO). Los progenitores hembras fueron relativamente igual en rendimiento y sus componentes a los progenitores machos, donde tres hembras sobresalieron con alto RTO, sin diferencias significativas como son B98, B92 y B16 con valores de 3.30 , 3.26 y 3.06 t ha^{-1} , respectivamente. Se observó una mayor similitud en cuanto al RTO entre los progenitores hembras que entre machos, probablemente se debe a que tienen el mismo origen mostrando menor variación, sugiriendo que las combinaciones de los machos son los que influyen en el comportamiento de las cruzas.

Para la variable días a floración (DF), precisamente los progenitores machos que sobresalieron en RTO fueron ligeramente más precoces (86.33, 86.69 y 87.07 días, respectivamente), a excepción de Pan 37 que es 2 a 3 días más tardío; lo mismo sucedió con las hembras en el orden (86.07, 87.78 y 86.21 días, respectivamente); ésta característica es ideal, es decir, poder contar con un genotipo que además de ser rendidor sea también precoz; considerando que el comportamiento de la característica DF fue afectada por las condiciones climáticas desfavorable sobre todo de bajas temperaturas ocurridas en la localidad de Buenavista, Coah (Figura 1), que atrasaron el inicio de floración en los genotipos y en consecuencia se obtuvieron DF superiores a los 80 días.

Para las variables de componentes de rendimiento, fue el número de granos por panoja (NGP) que contribuyó a incrementar el rendimiento de grano (Peña-Ramos *et al.*, 2004), para los machos más rendidores como son Pan 37, 124-2, IA28 y 14-3, obtuvieron los mayores valores con 2447.6, 2160.4, 2129.3 y 1939.9 NGP, respectivamente y PMG de 30.1, 26.2, 22.5 y 23.1 gramos, respectivamente (Cuadro 5); pero el macho Pan 37, además de presentar el mayor PMG, también presentó el mayor NGP, sugiriendo que ambos componentes contribuyeron simultáneamente al rendimiento para este progenitor, lo cual es consistente a lo reportado por Wong *et al.* (2007) y Borrás y Otegui (2001). Sin embargo este resultado es poco común en la literatura, debido a que ambos componentes están negativamente correlacionados (Peña-Ramos *et al.*, 2004). En el caso de las hembras parece ser que el PMG es lo que contribuye a incrementar el RTO, ya que B98, B92 y B16 que sobresalen en RTO también sobresalen con mayor PMG de 25.8, 28.1 y 26.1 gramos, respectivamente y no

precisamente coincidió con los valores más altos de NGP; ya que las hembras que se destacaron en esta variable fueron B68 (2187.4 NGP) y B625 (2184.3 NGP), pero presentaron menor PMG y por lo tanto bajo RTO; estos resultados coinciden a lo reportado por Wong *et al.* (2007) en cruzas de maíz, donde la expresión del alto rendimiento fue aportado por el macho con el mayor número de granos y por la hembra con el mayor peso de mil granos.

Cuadro 5. Rendimiento y características agronómicas de líneas machos y hembras en promedio de cruzas. Diseño II de Carolina del Norte. Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014.

Código	Línea	RTO (t ha ⁻¹)	NGP	PMG (g)	DF (50 %)	AP (cm)	EP (cm)	LP (cm)
M1	14-3	3.12 ab	1939.9 bc	23.1 cd	86.69 a	123.81 ab	6.77 bc	26.60 c
M2	12 A	2.63 bc	1335.6 d	24.5 bc	87.36 ab	130.40 b	8.5 ab	28.44 a
M3	106-2	2.49 c	1761.2 c	21.9 d	90.12 c	130.35 b	3.11 e	26.49 c
M4	124-2	3.53 a	2160.4 ab	26.2 b	86.33 a	148.44 c	7.88 abc	28.04 ab
M5	IA28	3.16 ab	2129.3 b	22.5 d	87.07 a	122.49 a	6.31 cd	26.97 bc
M6	21-1	2.54 c	1641.1 cd	23.3 cd	89.02 bc	119.22 a	8.79 a	26.75 bc
M7	Pan 37	3.60 a	2447.6 a	30.1 a	89.36 c	221.19 d	4.53 de	24.88 c
H1	B92	3.26 a	1791.5 b	28.1 a	87.78 abc	138.51 a	8.09 ab	26.08 c
H2	B98	3.30 a	1944.4 ab	25.8 bc	86.07 a	146.46 cd	6.43 cd	25.11 cd
H3	B96	2.99 ab	1827.4 b	24.1 cd	86.86 ab	141.90 abc	7.85 abc	24.77 d
H4	B16	3.06 ab	1708.8 b	26.1 b	86.21 a	139.19 ab	9.45 a	24.86 cd
H5	B68	2.94 ab	2187.4 a	22.6 d	88.98 c	147.32 d	4.70 de	31.45 a
H6	B626	2.88 ab	1771.3 b	22.3 d	88.50 bc	140.76 abc	6.23 cd	26.03 cd
H7	B625	2.63 b	2184.3 a	22.5 d	91.55 c	141.79 abc	3.15 e	29.88 b
DMS0.05		0.54	312.6	1.78	1.78	7.5	1.84	1.30

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); RTO = Rendimiento de grano en $t\ ha^{-1}$; NGP = Número de granos por panoja; PMG = Peso de mil granos en gramos; DF = Días a 50 % de floración; AP = Altura de planta en cm; EP = Excursión de panoja en cm; LP = Longitud de panoja en cm.

Con respecto a las demás variables, AP, EP y LP en hembras y machos, solamente el progenitor macho Pan 37, presentó AP desfavorable para realizar cosecha mecanizada (221.19 cm), también presentó la menor LP (24.88 cm). Las hembras B96 y B16 presentaron menor LP. Se observa (Cuadro 5) que los progenitores machos y hembras expresaron un comportamiento diferencial en la mayoría de las variables, consecuentemente la expresión fenotípica fue diferente en las localidades de evaluación como resultado de la divergencia genética entre el material genético (Gómez et al., 1988).

Comportamiento del rendimiento *per sé* e *inter sé* de los progenitores

La mayoría de los progenitores machos desempeñaron un alto valor de índice de superioridad (P_i) *per sé* que *inter sé*, dado por los valores positivos de $P_i(is-ps)$ (Cuadro 6), indicando buena estabilidad *per sé* de estos progenitores, excepto el macho 12 A que reflejó mejor estabilidad *inter sé* ($P_i = -0.1$). Los progenitores hembras desempeñaron una mejor estabilidad *per sé* con valores $P_i(is-ps)$ positivos. Estos resultados fueron consistentes a los reportados por Makanda *et al.* (2010) en genotipos de sorgo.

En el caso de la hembra B16 que fue afectada por las condiciones desfavorables de temperaturas en la localidad de Buenavista (Figura 1) no se obtuvo rendimiento *per sé*.

Cuadro 6. Índice de superioridad (Pi) *per sé* e *inter sé* de líneas machos y hembras para el rendimiento de grano a través de dos localidades. Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014.

Rendimiento de grano (Pi)				Rendimiento de grano (Pi)			
Machos	<i>Inter sé</i>	<i>Per sé</i>	Pi(is-ps)	Hembras	<i>Inter sé</i>	<i>Per sé</i>	Pi(is-ps)
14-3	3.12 ab	2.40	0.72	B92	3.26 a	2.15	1.11
12 A	2.63 bc	2.73	-0.1	B98	3.30 a	1.71	1.59
106-2	2.49 c	1.80	0.69	B96	2.99 ab	2.07	0.92
124-2	3.53 a	1.95	1.58	B16	3.06 ab	-	-
IA28	3.16 ab	2.12	1.04	B68	2.94 ab	1.47	1.47
21-1	2.54 c	1.99	0.55	B626	2.88 ab	2.19	0.69
Pan 37	3.60 a	1.68	1.92	B625	2.63 b	1.62	1.01

Pi = Índice de superioridad; is = rendimiento *inter sé*; ps = rendimiento *per sé*

Aptitud Combinatoria General

Para la estimación de los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) se emplearon los datos de las cruzas con el promedio de las dos localidades (Cuadro 7 y 8).

Efectos significativos de ACG fueron observados para número de granos por panoja (NGP) para las líneas machos; peso de mil granos (PMG) y excersión de panoja

(EP) para las líneas machos y hembras; días a floración (DF) y longitud de panoja (LP) para las líneas hembras, y altura de planta (AP) para las líneas machos, respectivamente (Cuadro 7), sugiriendo la importancia de genes con acción aditiva en la expresión de estas características, las cuales pueden ser mejoradas por selección. Estos resultados son consistentes con reportes previos (Kenga *et al.*, 2004; Tadesse *et al.*, 2008; Makanda *et al.*, 2010). Para rendimiento de grano (RTO) no se observó ACG significativa, pero sí positiva para la mayoría de los progenitores machos y para la minoría de las hembras, indicando la poca importancia de genes con efecto aditivo, esto se debe a que el rendimiento de grano parece ser principalmente del tipo no aditivo (Peña-Ramos *et al.*, 2004), 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).

Comparaciones individuales de efectos de ACG para RTO y NGP indican que las líneas machos Pan 37, 124-2 e IA28 presentaron los valores más altos y positivos con 0.54, 0.52 y 0.15 t ha⁻¹, respectivamente y para NGP, con 531.2, 244 y 212.9 granos, respectivamente, indicando de forma general que el efecto de ACG en el NGP influye en el alto efecto de ACG del RTO en los progenitores machos. Con respecto a las hembras sobresalieron B98, B92 y B16 con efecto de ACG de 0.29, 0.25 y 0.05 t ha⁻¹, en este caso el efecto de ACG de PMG (3.58, 1.25 y 1.63) contribuyó en el alto efecto de ACG de RTO en las hembras, las demás poseen efecto negativo de ACG en RTO y PMG. Las hembras B68 y B625 mostraron los valores más altos y positivos de ACG para NGP. Estos resultados son consistentes de acuerdo a lo reportado por Madhy *et al.* (2011); Y

reflejan el verdadero valor genotípico de las líneas en mención al ser estimados como efectos medios de una línea en una serie de cruzas; por lo tanto entre más alta es la ACG de una línea, mayor será el desempeño promedio de sus híbridos, tal como lo menciona Belum *et al.* (2007). Esta observación indica la tendencia de estos progenitores a desarrollar híbridos superiores, tal es el caso de los progenitores hembras B92, B98 y B16, que aparecieron 3, 4 y 2 veces en las cruzas, respectivamente, aportando en promedio mejores cruzamientos por su mejor valor reproductivo, también los machos 124-2, Pan 37 e IA28, dieron excelentes combinaciones híbridas, apareciendo en 4, 5 y 3 veces respectivamente en los mejores híbridos con alto potencial de rendimiento. Tanto los machos como las hembras en mención generaron cruzas con efectos positivos de ACE, a excepción del macho IA28 (Cuadro 8). Es importante considerar para la formación de híbridos aquellos progenitores que muestren ACG positiva y significativa para rendimiento de grano como sugiere Makanda *et al.* (2010), debido a que se obtiene ganancia genética con presencia suficiente de genes con acción aditiva.

Para PMG se obtuvo ACG positiva y significativa en la línea macho Pan 37, y sólo positivas para 124-2; la línea hembra B92 con efecto positivo y significativo de ACG; y positivo, pero no significativo para B98 y B16. Las demás líneas hembras y machos exhibieron efectos negativos en la expresión de esta característica. En general se observa que las hembras deben su alto efecto de ACG de rendimiento al peso de mil granos (Wong *et al.*, 2007) (Cuadro 7).

Con respecto a DF, la hembra B625 mostró efecto positivo y significativo, lo cual contribuiría con la obtención de genotipos tardíos; en este caso se buscarían

progenitores hembras y machos con efectos significativos y negativos en la expresión de esta variable para la obtención de cruzas precoces; sin embargo se identificaron líneas con efectos negativos de ACG para esta característica; las cuales pueden ser una opción para desarrollar o producir genotipos de ciclo corto que escapen a la sequía, adaptados a zonas con precipitaciones escasas e irregulares. Dicho mecanismo de escape a la sequía se ha utilizado en muchos cultivos, incluyendo al sorgo (Seetharama, 1995). La hembra B68 y B625 presentaron efectos de ACG positivos y significativos para LP, sugiriendo su contribución al RTO en la craza que participe, pues se considera un componente principal en el rendimiento del sorgo (Maman *et al.*, 2004; Valadez-Gutiérrez *et al.*, 2006). También los machos 12 A, 124-2 e IA28, presentaron efectos positivos de ACG, pero no significativos (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores estimados de aptitud combinatoria general (ACG) de líneas de sorgo machos y hembras para siete características agronómicas. Diseño II de Carolina del Norte. Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014.

Código	Línea	RTO (t ha ⁻¹)	NGP	PMG (g)	DF (50 %)	AP (cm)	EP (cm)	LP (cm)
M1	14-3	0.11	23.5	-1.43	-1.30	-18.46*	0.21	-0.28
M2	12 A	-0.38	-580.8*	-0.03	-0.63	-11.87	1.94	1.56
M3	106-2	-0.52	-155.2	-2.64	2.13	-11.92	-3.45*	-0.39
M4	124-2	0.52	244	1.71	-1.66	6.17	1.32	1.16
M5	IA28	0.15	212.9	-2.02	-0.92	-19.78*	-0.25	0.09
M6	21-1	-0.47	-275.3	-1.17	1.03	-23.05*	2.23	-0.13
M7	Pan 37	0.59	531.2	5.58*	1.37	78.92*	-2.03	-2.0
H1	B92	0.25	-124.9	3.58*	-0.21	-3.76	1.53	-0.80
H2	B98	0.29	28.0	1.25	-1.92	4.19	-0.13	-1.77
H3	B96	-0.02	-89.0	-0.39	-1.13	-0.37	1.29	-2.11
H4	B16	0.05	-207.6	1.63	-1.78	-3.08	2.89	-2.02
H5	B68	-0.07	271.0	-1.87	0.99	5.05	-1.86	4.57*
H6	B626	-0.13	-145.1	-2.17	0.51	-1.51	-0.33	-0.85
H7	B625	-0.38	267.9	-2.02	3.56*	-0.48	-3.41*	3.0*
Error estándar		0.48	277.5	1.58	1.58	6.68	1.63	1.16

*Más grande que 2 x error estándar; RTO = Rendimiento de grano en t ha⁻¹; NGP = Número de granos por panoja; PMG = Peso de mil granos en gramos; DF = Días a 50 % de floración; AP = Altura de planta en cm; EP = Exersión de panoja en cm; LP = Longitud de panoja en cm.

En AP se observó efectos importantes de ACG negativa y significativa en los machos 14-3, IA28 y 21-1, es decir, sus cruzas tenderán a presentar menor AP,

reduciendo de esta manera la susceptibilidad al acame, y significativa y positiva para Pan 37, ésta última contribuyendo a incrementar la altura en las cruzas en las cuales participa, siendo una desventaja en tecnologías de cosechas mecanizadas por su mayor altura y por su tendencias al acame. Con respecto a las hembras, no exhibieron efectos de ACG importantes en la expresión de la característica en cuestión. El macho 106-2 y la hembra B625, probablemente produzcan híbridos con poca o ninguna excersión, debido al aporte de efectos de ACG negativos y significativos, lo que afectaría la calidad de grano en el momento de cosecha y trilla. Según Zewdie y Bosland (2000), los valores significativos de ACG pueden ser interpretados como una manifestación de la variabilidad presente en los progenitores, que puede ser transmitida a su progenie. Por esta razón es necesario considerar los valores de ACG con efectos significativos, ya sea positiva o negativa según el interés de incrementar o disminuir la expresión de la característica que se quiere incorporar en la progenie.

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).

Aptitud Combinatoria Específica

El 14 % de las cruzas presentaron efectos positivos y estadísticamente significativos de ACE en rendimiento de grano (RTO) (A.2). En el cuadro 8 sólo se presentan las siete cruzas que sobresalieron con valores positivos y significativos; y cinco cruzas con valores positivos, pero no significativos para esta variable. A pesar que la craza A625 x 21-1, tuvo el más alto efecto de ACE (0.69 t ha^{-1}), obtuvo el lugar treinta y tres en RTO (2.85 t ha^{-1}) (A.1), esto se debe probablemente a que sus progenitores presentaron efectos negativos de ACG, y no se considera una combinación deseable. Por su parte la craza A92 x 124-2, que también sobresalió por su alto efecto de ACE (0.67 t ha^{-1}), presentó el primer lugar en RTO (4.45 t ha^{-1}) (Cuadro 3), donde ambos progenitores tienen valores positivos de ACG y al menos uno con alto valor, condición que por sí misma asegura alto rendimiento (Guerrero-Guerrero *et al.*, 2011; Wong *et al.*, 2007). Otras cruzas que sobresalieron por su alto efecto de ACE fueron A98 x Pan 37 (0.31 t ha^{-1}), A16 x Pan 37 (0.34 t ha^{-1}), ocupando el segundo y cuarto lugar en RTO (4.20 y 4 t ha^{-1}). Los padres de estas cruzas también poseen efecto positivo de ACG, sugiriendo combinaciones deseables.

Se observaron casos en que al menos uno de los progenitores resultó con efecto negativo de ACG, sin embargo dicha craza obtuvo efecto positivo ACE y con alto RTO, entre ellas las cruzas A92 x 12 A, A96 x 124-2, A68 x 124-2 y A626 x Pan 37 con valores de ACE de 0.51 , 0.38 , 0.26 y 0.36 t ha^{-1} , respectivamente (Cuadro 8) y RTO de 3.39 , 3.89 , 3.72 y 3.84 t ha^{-1} , respectivamente (Cuadro 3). Estos resultados indican que

cuando en cruzas específicas participan ambos progenitores o al menos uno con efecto de ACG positivo, serán combinaciones adecuadas, ya que en este estudio resultaron superiores en rendimiento de grano (Wong *et al.*, 2007; Guerrero-Guerrero *et al.*, 2011). O 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 A92 x 21-1, A625 x 12 A, A68 x 106-2, presentaron efecto positivo de ACE, pero bajos rendimientos.

Generalmente las líneas que aparecieron con más frecuencia en los híbridos sobresalientes y en sus respectivas cruces específicas son las que obtuvieron los valores más altos de ACG, coincidiendo a lo reportado por Guerrero *et al.* (2012).

Cuadro 8. Aptitud combinatoria específica (ACE) de las mejores 12 cruzas de sorgo para siete características agronómicas. Diseño II de Carolina del Norte. Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014.

Cruzas	RTO	NGP	PMG	DF	AP	EP	LP
H x M	(t ha ⁻¹)		(g)	(50 %)	(cm)	(cm)	(cm)
A92 x 12 A	0.51*	130.7	0.91	-0.15	4.98*	-2.41*	2.73*
A92 x 124-2	0.67*	56.9	-0.09	0.21	5.95*	0.92	-0.39
A98 x Pan 37	0.31	-83.2	-0.20	0.73	3.95	3.52*	0.31
A96 x 124-2	0.38	-187.5*	-0.59	-1.20	-1.19	0.31	1.69*
A96 x 21-1	0.50*	89.0	-1.61*	1.61	4.18	1.24*	0.66*
A16 x Pan 37	0.34	201.9*	1.12*	-0.41	-12.28*	1.08*	1.82*
A68 x 106-2	0.39*	135.2	0.12*	-2.28	-7.19*	-0.67	1.21*
A68 x 124-2	0.26	213.0*	0.42	0.18	6.63*	0.21	-0.38
A626 x 12 A	0.51*	-123.7	0.95	0.13	2.96	0.50	-1.92*
A626 x Pan 37	0.36	209.6*	0.72	0.30	-3.47	-1.50*	2.17*
A625 x 12 A	0.42*	434.6*	-0.30	1.08	-0.24	-0.76	0.24
A625 x 21-1	0.69*	-109.2	-0.26	-2.91*	7.19*	1.15*	0.60
Error estándar	0.19	78.6	0.50	1.42	2.38	0.50	0.32

*Más grande que 2 x error estándar; RTO = Rendimiento de grano en t ha⁻¹; NGP = Número de granos por panoja; PMG = Peso de mil granos en gramos; DF = Días a 50 % de floración; AP = Altura de planta en cm; EP = Excursión de panoja en cm; LP = Longitud de panoja en cm.

Con respecto a las variables de componente de rendimiento, las cruzas que presentaron alto y positivo efecto de ACE en RTO, también obtuvieron alto efecto de ACE positivo en NGP y algunas cruzas con efecto significativo; en cambio para PMG no sucedió lo mismo en la mayoría de los casos, porque sólo las cruzas A16 x Pan 37 y

A68 x 106-2, reflejaron efecto de ACE positivo y significativo, que contribuyeron con efecto positivo para RTO en dos cruzas únicamente (Cuadro 8).

Cinco cruzas mostraron ligeramente una disminución en DF por sus efectos negativos de ACE, pero sólo A625 x 21-1, contribuyó con efectos estadísticos significativos. En AP sobresalieron por sus valores de ACE negativos y significativos las cruzas A16 x Pan 37 y A68 x 106-2, porque se consideran valores deseables para reducir la susceptibilidad al acame, al tener cruzas de menor altura de planta, lo que facilitaría la cosecha mecanizada.

Para EP y LP son deseables los valores de ACE positivo y significativo, ya que se contribuye a incrementar favorablemente éstos caracteres en cuestión. En la característica de EP sobresalieron cinco cruzas y en LP seis cruzas (Cuadro 8). Los resultados indicaron que estas cruzas tendieron a presentar una mayor excersión y longitud de panoja.

De acuerdo a estos resultados se infiere que combinaciones específicas de líneas A y líneas R, con buenos efectos de aptitud combinatoria específica seguirá siendo un requerimiento esencial para la producción de híbridos superiores (Belum *et al.*, 2007). Pues el mejoramiento genético por hibridación tendrá éxito si al menos ambas o una de las líneas de un híbrido son de alta ACG, que de acuerdo a nuestros resultados esta condición aseguró el alto rendimiento, tal como sugiere Guerrero-Guerrero *et al.* (2011).

Heterosis

La heterosis de 42 cruzas para RTO, se encontró en el rango de -4.05 a 147.79 %, que corresponden a las cruzas A98 x 12 A y A98 x Pan 37 (A.3); valores superiores fueron reportados por Osuna *et al.* (2001). Los valores superiores y de mayor amplitud de heterosis se atribuye a la mayor diversidad de las líneas que participaron en las cruzas (León-Velasco *et al.*, 2009; Cisneros-López *et al.*, 2007); al contrario las que registraron heterosis con valores inferiores y negativos; aunque se considera que el nivel deseable para el aprovechamiento de la heterosis en una craza es al menos de 20 % (Guerrero *et al.*, 2012). En siete cruzas no se registró esta información debido a que el comportamiento *per sé* de la hembra progenitora A16 fue afectada por condiciones desfavorable de temperaturas sobre todo en la localidad de Buenavista (A.3).

En el cuadro 9 se reflejan once cruzas que superaron el 80 % de heterosis para rendimiento de grano (RTO). De estas solamente las cruzas A68 x Pan 37 y A625 x Pan 37, con heterosis de 91.11 y 80 %, no se ubican dentro de las mejores 14 cruzas superiores en RTO (3.01 y 2.97 t ha⁻¹) (Cuadro 3 y 9), ya que el resto de las cruzas, además de mostrar altos niveles de heterosis, también aparecen dentro de las más rendidoras, como son las cruzas A92 x 124-2, A98 x Pan 37, A98 x 124-2, A92 x Pan 37, A96 x 124-2, A626 x Pan 37, A68 x 124-2, A98 x 14-3, A98 x IA28, con RTO de 4.45, 4.20, 4.03, 3.94, 3.89, 3.84, 3.72, 3.70 y 3.65 t ha⁻¹, respectivamente y heterosis de 117.07, 147.79, 129.22, 105.74, 93.53, 97.93, 117.54, 80.05 y 90.60 %, respectivamente (Cuadro 3 y 9); de estas cruzas sólo A92 x 124-2, A98 x Pan 37, A96 x 124-2, A626 x

Pan 37 y A68 x 124-2, se destacaron también por presentar efectos positivos de ACE (Cuadro 8).

Este resultado indica que la heterosis está controlada por interacciones dominantes, así como por cierto grado de efectos aditivos. Seis cruzas que mostraron niveles de heterosis inferiores a 20 %, fueron las que obtuvieron rendimientos inferiores a la media general (media = 2.81 t ha⁻¹) (A.3 y A.1); coincidiendo con Guerrero *et al.* (2012).

Cuadro 9. Porcentaje de heterosis de 11 híbridos sobresalientes de sorgo con respecto a la media de ambos progenitores. Diseño II de Carolina del Norte. Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014.

Cruzas H x M	RTO (t ha ⁻¹)	NGP	PMG (g)	DF (50 %)	AP (cm)	EP (cm)	LP (cm)
A92 x 124-2	117.07*	43.68*	33.27*	0.78	27.72*	-6.77	15.19*
A92 x Pan 37	105.74*	87.01*	27.04*	-0.28	56.86*	-34.88	19.57*
A98 x 14-3	80.05*	95.23*	-2.31	-1.18*	24.43*	6.86	25.67*
A98 x 124-2	120.22*	92.08*	21.87*	2.23*	31.56*	-39.75	32.37*
A98 x IA28	90.60*	79.01*	-0.21	-1.58*	24.68*	-2.91	21.52*
A98 x Pan 37	147.79*	157.19*	16.88*	3.12*	62.28*	33.33	40.58*
A96 x 124-2	93.53*	56.32*	7.67*	1.72*	18.85*	2.49	28.17*
A68 x 124-2	117.54*	83.59*	19.13*	-0.09	32.23*	2.55	8.48*
A68 x Pan 37	91.11*	116.61*	16.83*	0.46	68.60*	88.06*	11.10*
A626 x Pan 37	97.93*	151.10*	34.19*	2.95*	59.41*	23.85	36.81*
A625 x Pan 37	80*	109.25*	18.19*	3.93*	80.12*	15.32	19.87*
Error estándar	5.30	5.79	1.90	0.53	2.80	27.71	1.46

*Más grande que 2 x error estándar; RTO = Rendimiento de grano en t ha⁻¹; NGP = Número de granos por panoja; PMG = Peso de mil granos en gramos; DF = Días a 50 % de floración; AP = Altura de planta en cm; EP = Excursión de panoja en cm; LP = Longitud de panoja en cm.

Generalmente la heterosis del número de granos (NGP) fue la que más contribuyó a la heterosis del RTO, ya que la heterosis de peso de mil granos (PMG) fue de menor amplitud (Cuadro 9 y A.3), coincidiendo con Peña-Ramos *et al.* (2004), encontrándose niveles que varían de -1.17 a 166.06 % (A626 x 12 A y A96 x Pan 37), relativamente superiores a los reportados por León-Velasco *et al.* (2009). Para el PMG los valores de heterosis varían de -11.13 a 41.33 % (A625 x 124-2 y A92 x 21-1); similares a los reportados por León-Velasco *et al.* (2009).

En sorgo, la heterosis puede manifestarse mediante floración más precoz, porte, semillas más pesadas y mayor producción de grano. Se registró heterosis para la variable días a 50 % de floración (DF) significativa y negativa para algunas cruzas, sugiriendo que los progenitores contribuyeron a disminuir los DF en la crusa en la que estuvieron involucrados (Cuadro 9). La mayoría de las cruzas mostraron heterosis positiva para excursión (EP) y longitud de panoja (LP), esta última como una de las variables principales del componente del rendimiento, contribuyendo de esta manera a la heterosis del RTO (Maman *et al.*, 2004; Valadez-Gutiérrez *et al.*, 2006).

Con respecto a la heterosis de altura de planta (AP) se observaron valores solamente positivos (Cuadro 9 y A.3), sugiriendo que para todas las cruzas hubo una manifestación de porte de planta que supera el límite de los padres; sin embargo sólo las cruzas donde intervino el progenitor masculino Pan 37, sobrepasa los 200 cm de altura, que como se mencionó anteriormente, no es una altura adecuada para cosecha

mecanizada en aéreas de siembras comerciales, seguido por tendencias de vulnerabilidad al acame.

V. CONCLUSIONES

Los efectos de ACG significativos para rendimiento y características agronómicas permitió identificar a los progenitores superiores: Pan 37, 124-2 e IA28, los cuales tendieron a desarrollar híbridos superiores, apareciendo en 4, 5 y 3 veces en las cruzas de mayor rendimiento y B92, B98 y B16, que participaron en 3, 4 y 2 veces en cruzas que en promedio resultaron ser mejores cruzamientos.

Las cruzas de efectos positivos de ACE, alta heterosis y potencial de rendimiento fueron A92 x 124-2, A98 x Pan 37, A96 x 124-2, A626 x Pan 37 y A68 x 124-2.

Se identificaron diez cruzas de alto rendimiento de grano, destacándose las cruzas A92 x 124-2 y A98 x Pan 37, que superaron en 26 y 19 % al mejor testigo comercial.

El análisis genético general combinado permitió encontrar progenitores superiores que generaron buenas combinaciones híbridas, así como identificar cruzas

específicas rendidoras con características agronómicas deseables en ambientes contrastantes.

VI. RESUMEN

Palabras clave: *Sorghum bicolor*, líneas endogámicas, aptitud combinatoria, heterosis, componentes del rendimiento.

En México, el sorgo representa un cultivo fuente de materia prima para la industria pecuaria de alimentos balanceados, permitiendo al mismo tiempo que se disponga de proteínas de origen animal para consumo humano; sin embargo es el principal importador de grano de sorgo en la actualidad, a pesar de ubicarse entre los cuatro mayores productores del mundo. En esta situación, es de valor contar con germoplasma fundación para derivar líneas complementarias y producir híbridos competitivos. En este trabajo se generaron 49 cruzas, formadas durante el ciclo agrícola Primavera / Verano 2013 en la localidad Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, por medio de cruzas entre siete líneas hembras androestériles (A) y siete líneas machos restauradoras de la fertilidad (R), mediante el Diseño de Apareamiento Genético II de Carolina del Norte (7 x 7), con el propósito de: i) estimar la aptitud combinatoria general (ACG) en líneas, y específica (ACE) en cruzas, variables de rendimiento de grano y otras de importancia agronómica; ii) calificar jerárquicamente a las cruzas simples en función de la superioridad en heterosis para rendimiento de grano.

Las variables de respuesta fueron: días a floración (DF), altura de planta (AP), longitud de panoja (LP), excursión de panoja (EP), peso de mil granos (PMG), número

de granos por panoja (NGP) y rendimiento de grano (RTO). Durante P / V – 2014, se establecieron ensayos de rendimiento en las localidades Rio Bravo, Tamaulipas, y Buenavista, Saltillo, México, incluyendo a progenitores, cruza y testigos comerciales, para un total de 66 materiales. El diseño estadístico en las dos localidades fue en bloques completos al azar (BCA) con tres repeticiones, la parcela experimental fue de 1 surco de 5 metros de largo, con una distancia entre surco de 0.80 m. Se hizo un análisis de varianza (ANOVA) individual y combinado; la prueba de medias a través de Tukey ($\alpha = 0.05$), el cual permitió identificar materiales superiores en rendimiento y características agronómicas en ambientes contrastantes. El análisis genético fue con el diseño de apareamiento II Carolina del Norte (Comstock *et al.*, 1949), el cual permitió estimar la ACG de líneas y la ACE de cruza. Con el cálculo de heterosis fue posible identificar híbridos superiores con respecto a la media de ambos progenitores. Los análisis estadísticos y genéticos se realizaron utilizando el paquete estadístico SAS (2001).

Los análisis estadísticos individuales por localidad indicaron diferencias del efecto tratamiento para todas las variables ($p \leq 0.01$), y a través de localidades, con diferencias significativas para la mayoría de las variables ($p \leq 0.01$), entre localidades (excepto NGP), entre tratamientos y en la interacción tratamiento con localidad (excepto AP). El rendimiento de grano (RTO) promedio obtenido en ambas localidades fue de 2.81 t ha^{-1} , con 3.61 t ha^{-1} en Rio Bravo, y 1.97 t ha^{-1} en Buenavista, atribuyéndose el bajo RTO de la segunda localidad a las condiciones desfavorables de temperaturas. El análisis genético identificó a los progenitores machos Pan 37 (0.54 t ha^{-1}) y 124-2 (0.52 t ha^{-1}) y las hembras B92 (0.29 t ha^{-1}) y B98 (0.25 t ha^{-1}) con los mayores efectos de ACG

indicando la importancia de genes con acción aditiva en la expresión de las características evaluadas, y los más altos RTO, número de granos por panoja (NGP) y peso de mil granos (PMG). El NGP contribuyó al alto RTO de estos progenitores machos, y PMG contribuyó al RTO de las mejores hembras. Se observó una mayor similitud en cuanto al RTO entre los progenitores hembras que entre machos, sugiriendo que las combinaciones de los machos son los que influyen en el comportamiento de las cruzas.

Las cruzas que presentaron efectos positivos y altos de ACE para RTO y sus componentes fueron (A92 x 124-2, A98 x Pan 37, A96 x 124-2, A626 x Pan 37 y A68 x 124-2), también mostraron alta heterosis (117.07, 147.79, 93.53, 97.93 y 117.54 %) y superiores en RTO, donde las primeras dos cruzas superaron en 26 y 19 % al mejor testigo (83 G19 Pionner). Estos resultados confirman que la presencia de genes con acción aditiva y de dominancia en germoplasma base son aprovechables para generar buenas combinaciones híbridas y seleccionar las mejores para posibles aplicaciones comerciales.

VII. LITERATURA CITADA

Belum V, S Reddy, S Ramesh, P Sanjana Reddy, B Ramaiah (2007) Combining ability and heterosis as influenced by male-sterility inducing cytoplasm in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Euphytica*. 154:153–164.

Berenji J and J Dahlberg (2004) Perspectives of Sorghum in Europe. *J Agron Crop Sci* 1905: 332-338.

Berenji J and J Kisgeci (1996) Broomcorn-classical example of industrial use of sorghum. 1st European Seminar on Sorghum for Energy and Industry: 43-48, Toulouse, France.

Borrás L y M E Otegui (2001) Maize kernel weight response to post flowering source-sink ratio. *Crop Sci*. 49:1816-1822.

Chapman S C, M Cooper, D G Butler, R G Henzell (2000) Genotype by environment interactions affecting grain sorghum. I. Characteristics that confound interpretation of hybrid yield. *Aust. J. Agric. Res* 51, 197–207.

Cisneros-López M E, L E Mendoza-Onofre, G Mora-Aguilera, L Córdova-Téllez, M Livera-Muñoz (2007) Cold tolerant sorghum hybrids and parental lines. I: Seed quality and its effects on seedling establishment. *Agrociencia* 41: 45-55.

Comstock R E y H F Robinson (1948) The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics* 4:254-266.

Comstock R E, H F Robinson, P H Harvey (1949) A breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. *J. Am. Soc. Agron* 41: 360 – 367.

Almeida A & F Caillens (1999) Diagnostic agrosocio économique dans la région de Madriz au Nicaragua. Montpellier, France. 143 p.

Dahlberg J, J Berenji, V Sikora, D Latkovic (2011) Assessing Sorghum [*Sorghum bicolor* (L) Moench] germplasm for new traits: Food, Fuels & unique uses. *Maydica*, 8: 56 – 1750.

De Almeida F J, F D Tardin, M D Vilela, F F e Silva, I S Correia, C B de Menezes (2013) Genetic evaluation of grain sorghum hybrids in Brazilian environments using the REML/BLUP procedure. *Scientia Agrícola* V 71(2):46-150.

De Wet J M y J P Huckabay (1967) The origin of *Sorghum bicolor*. II. Distribution and domestication. *Evolution* 21 (12): 787-802.

Dillon L S, Shapter F M, Henry R J, Cordeiro G , Izquierdo L, Lee LS (2007) Domestication to Crop Improvement: Genetic Resources for Sorghum and Saccharum (Andropogoneae). *Annals of Botany* 100: 975–989, 2007.

Doggett H (1988) Sorgo. 2o Ed. Agricultura tropical. Serie: Longman. P. 512.

- Falconer D S y T F C Mackay (1996)** Introduction to quantitative genetics. 4th edition. Longman.
- FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations) (2013)** Estadísticas de producción agropecuaria. Sorgo. Roma (IT). Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>
- Geremew G, A Asfaw, T Taye, T Tesfaye, B Ketema, H Hilemichael (2004)** Development of sorghum varieties and hybrids for dryland areas of Ethiopia. Uganda Journal of Agricultural Science 9:594–605.
- Gómez M N, R Valdivia, H Mejía (1988)** Dialéxico intergrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. Rev. Fitotec. Mex. 11(2) 103-120.
- Grobman A (1985)** Área de producción de sorgo en América Central y América del Sur. Producción de la semilla de sorgo en América latina. México. 177 p.
- Guerrero G C, A Espinoza, A Palomo, E Gutiérrez, J G Luna, N Rodríguez (2012)** Comportamiento genético y aptitud combinatoria en cruza simples con líneas élite de maíz. Universidad y Ciencia, Trópico Húmedo. 28(1):65-77.
- Guerrero-Guerrero C, A Espinoza-Banda, A Palomo-Gil, E Gutiérrez-del Río, H Zermeño-González, M P González- Castillo (2011)** Aptitud combinatoria del rendimiento y sus componentes en dos grupos de líneas de maíz. Agronomía Mesoamericana 22(2):257-267.
- Haaland R (1995)** Sedentism, cultivation, and plant domestication in the Holocene middle Nile region. J. of Field Archaeol. 22:157-174.
- Hallauer A R (1990)** Methods used in developing maize inbreds. Maydica 35(1): 1-16.
- Hallauer A R y J B Miranda (1988)** Quantitative Genetics in Maize Breeding. Second Edition. FO Pag. 180, 456, 457.

Han G C, S K Vasal, D L Beck, E Elias (1991) Combining ability of inbred lines derived from CIMMYT maize (*Zea mays* L.) germoplasm. *Maydica* 36:57-67.

Harlan J (1971) Agricultural origins: Centers and Noncenters. *Science* 174 (10): 468-474.

Harlan J R y de J M J Wet (1972) A simplified classification of cultivated plants. *Taxon* 20: 509-517.

Hernández L A, T M Gallegos, J E Reyes, A L Meza (2011) PERLA-101: nueva variedad de sorgo para grano en el estado de Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.2 Núm. (5): 779-784.*

Hinkelmann K, O Kempthorne (2011) Design and analysis of experiments. Wiley's series. Vol 2. *Advanced Experimental Designs.*

House L R (1985) Guía para la educación del sorgo. 2o Edición, ICRISAT, India.

ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (1997) Development of Cultivars and Seed Production Techniques in Sorghum and Pearl Millet. Training Manual. Patancheru 502 324 Andhra Pradesh, India. 122 pp.

Kenga R, S O Alabi, S C Gupta (2004) Combiningability studies in tropical sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Field Crops Research* 88:251-260.

Kimber C T (2000) Origins of domesticated sorghum and its early diffusion to India and China. p. 3-98. *In* C. W. Smith and R. A. Frederiksen (eds.), *Sorghum: Origin, History, Technology, and Production.* John Wiley and Sons, Inc., New York.

Kumar A A, Belum VS Reddy, B Ramaiah, R Sharma (2011) Heterosis in white-grained grain mold resistant sorghum hybrids. *Journal of SAT Agricultural Research* 9. 6 p.

Le Clerg E L, W H Leonard, A G Clark (1967) Field plot technique. Minneapolis, Minn. Burges Pub. Co. 373 p.

León- Velasco H, L E Mendoza, F Castillo, T Cervantes, A Martínez (2009) Evaluación de dos generaciones de híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío. II: aptitud combinatoria, heterosis y heterobeltiosis. *Agrociencia* 43 (6): 609-623.

Luna-Ortega J G, J L García-Hernández, R D Valdez-Cepeda, M A Gallegos-Robles, P Preciado-Rangel, C Guerrero-Guerrero, A Espinoza-Banda (2013) Aptitud combinatoria y componentes genéticos en líneas de maíz. *Universidad y Ciencia. Trópico Húmedo*. 9(3):243-253.

MAGFOR (Ministerio Agropecuario y Forestal) (2011) Semana Agropecuaria. Producción de sorgo. Dirección de Estadísticas. Vol 06. www.magfor.gob.ni

Mahdy E E, M A Alí, A M Mahmoud (2011) The effect of environment on combining ability and heterosis in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Asian J. Crop Sci* 3 (1): 1 – 15.

Makanda I, P Tongoona, J Derera, J Sibiya, P Fato (2010) Combining ability and cultivar superiority of sorghum germplasm for grain yield across tropical low- and mid-altitude environments. *Field Crops Research* 116 (2010) 75–85.

Maman N, S C Mason, D J Lyon, P Dhungana (2004) Yield components of pearl millet and grain sorghum across environments in the Central Great Plains. *Crop Sci*. 44: 2138-2145.

Mann J A, C T Kimber and, F R Miller (1983) The origins and early cultivation of sorghums in Africa. Texas A&M University. TAES Bulletin 1454.

Márquez SF (1985) Genotecnia Vegetal. Tomo II. AGTESA. México. 563 p.

Maunder A B y R C Pickett (1959) The genetic inheritance of cytoplasmic – genetic male sterility in grain sorghum. *Agron. Journal*. 51(1): 47 – 49.

- Murdock G F (1959)** Africa: Its Peoples and Their Cultural History. McGraw-Hill, London. of grain sorghum in México: II. Río Bravo, Tamaulipas; and Celaya, Guanajuato. *Agrociencia* 35: 625-636.
- Orozco M F J y L E Mendoza (1983)** Comparación de híbridos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] y algunos de sus progenitores. *Agrociencia* 53: 87-98.
- Osuna-Ortega J, Del C Mendoza-Castillom, L E Mendoza-Onofre (2003)** Sorghum cold tolerance, pollen production, and seed yield in the Central High Valleys of Mexico. *Maydica* 48, 125–132.
- Osuna O J, L E Mendoza, F Castillo, V A González, M C Mendoza, H W Alanís, M Hernández (2001)** Potential of cold tolerant germplasm in the adaptation and adaptability.
- Palemón A F, N O Gómez, F Castillo, P Ramírez, J D Molina, S Miranda (2012)** Potencial productivo de cruza intervarietales de maíz en la región semicálida de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3 (1): 157-171.
- 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-Ramos A, S D Kachman, J D Eastin, D J Andrews (2004)** Herencia del rendimiento, número y tamaño del grano en sorgo. *Rev. Fitotec. Mex.* 27: 149-156.
- Pineda L L (1997)** La producción de sorgo granifero en Nicaragua y su manejo bajo condiciones de secano. Instructivo Técnico. INTA–CNIA. Managua, Nicaragua. p 55.
- Poehlman J M (2005)** Mejoramiento genético de las cosechas. 2 ed. Editorial Limusa. D.F., México. 511 p.

- Quinby J R y J H Martín (1954)** Sorghum improvement. Adv. Agron. p.305–359. Academic Press.
- Quinby J R (1974)** Sorghum Improvement and the Genetics of Growth. Texas A&M University Press, College Station, TX.
- Quinby J R y K F Schertz (1975)** Genética, fitotecnia y producción de semilla de sorgo híbrido. *In: Producción y Usos del sorgo*. J S Wall y W M Ross (comps). Andrés O. Bottaro (trad.). Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires. pp 43-67.
- Reddy B V S , S Ramesh, P S Reddy, B Ramaiah (2006)** Combining ability and heterosis as influenced by male-sterility inducing cytoplasm in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Euphytica* 154:153–164.
- Reddy B V S, A A Kumar, S Ramesh, S P Reddy (2011)** Breeding sorghum for coping with climate change. Pages 326–329 *in* Crop adaptation to climate change (Yadav SS, Redden B, Hatfield JL and Herman Lotze-Campen, eds.). Iowa, USA: John Wiley & Sons Inc.
- Ruiz-Ramírez J (2010)** Eficiencia relativa y calidad de los experimentos de Fertilización en el cultivo de caña de azúcar. *Terra Latinoamericana* 28: 149-154.
- SAS (Statistical Analysis System) (2001)** Version 8.2. By SAS Institute Inc, Cary, NC, USA. Copyright 2001.
- Seetharama N (1995)** Biotechnology and sorghum improvement for drought and temperature stress tolerance. *Afr. Crop Sci. J.* 3, 223–229.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2013)** Estadísticas de producción agrícola en México. Sorgo de grano. www.siap.mx.
- SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera - Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) (2011)** Resumen nacional de la producción agrícola. Cultivo de

sorgo para grano bajo condiciones de riego y temporal (en línea). Disponible en http://reportes.siap.gob.mx/Agricola_siap.

Sprague G F y L A Tatum (1942) General vs specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34:923-932.

Stemler A (1980) Origins of plant domestication in the Sahara and the Nile Valley. p. 503-507. *In* M.A.J. Williams and H. Faure (eds.), *The Sahara and the Nile*. A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands.

Stephens J C y R F Holland (1954) Cytoplasmic male sterility for hybrid sorghum seed production. *Agron. J.* 46:20-23.

Tadesse T, T Tesso, G Ejeta (2008) Combining ability of introduced sorghum parental lines for major morpho-agronomic traits. *Journal of SAT Agricultural Research* 6. 7 p.

Torres M J H y A Williams (1985) Estabilidad del rendimiento, altura de planta y floración de híbridos experimentales y comerciales de sorgo. *Rev. Fitotec. Mex.* 11:185-198.

USDA (United States Department of Agriculture) (2013) Foreign Agricultural Service Production, Supply and Distribution Online. Washington (EU). Disponible en <http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx>

Valadez-Gutierrez J, L E Mendoza-Onofre, H Vaquera-Huerta, L Córdova-Tellez, M Mendoza-Castillo, G García de los Santos (2006) Flowers thinning, seed yield and post-anthesis dry matter distribution in sorghum. *Agrociencia* 40: 303-314.

Wigboldus J S (1990) Disputable dating of early sorghum in cultivation in the southern Old World: a case for tracing crop evolution and diffusion with references from history. p. 317-365. *In* D.A. Posey and W.L. Overall (eds.), *Ethnobiology Implications and Applications*. Museu Paraense Emelio Goeldi, Belem, Brazil.

Wong R R, E Gutiérrez del Río, A G Palomo, S H Rodríguez, H O Córdoba, A B Espinoza, J J Lozano (2007) Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la Comarca Lagunera, México. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 30 (2): 181 – 189.

Zewdie Y y P W Bosland (2000) Evaluation of genotype, environment, and genotype-by-environment interaction for capsaicinoids in *Capsicum Annuum* L. Euphytica 111:185-190.

Zewdie Y, P W Bosland, R Steiner (2000) Combining ability and heterosis for capsaicinoids in *Capsicum pubescens*. HortScience 36:1315-1317.

www.inegi.org.mx

<http://www.uaaan.mx>

<http://www.fao.org/docrep>

VIII. APENDICE

Cuadro A.1 Promedio de rendimiento y características agronómicas de híbridos, líneas parentales y testigos. Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014.

No.	Híbridos/Padres	RTO t ha ⁻¹	NGP	PMG (g)	DF (50%)	AP (cm)	EP (cm)	LP (cm)
1	A92 x 14-3	3.02	1918.7	25.2	87.33	115.07	10.32	24.55
2	A92 x 12 A	3.39	1341.3	29.0	87.0	131.62	7.62	30.37
3	A92 x 106-2	2.49	1591.2	27.6	89.33	129.28	5.05	25.85
4	A92 x 124-2	4.45 a	2092.3	29.7	86.33	150.63	10.33	26.85
5	A92 x IA28	3.08	1912.8	23.9	86.33	120.98	10.28	25.50
6	A92 x 21-1	2.48	1416.7	29.7	89.33	111.60	8.72	26.57
7	A92 x Pan 37	3.94	2267.2	31.6ab	88.33	210.37	4.35	22.88
8	A98 x 14-3	3.70	1863.0	23.2	84.33	126.25	5.53	25.43
9	A98 x 12 A	2.13	1205.0	26.7	86.67	132.45	9.83	25.28
10	A98 x 106-2	2.98	1823.3	23.3	87.50	128.77	2.23	24.18
11	A98 x 124-2	4.03 abc	2255.0	29.4	84.0	164.63	6.23	27.58
12	A98 x IA28	3.65	2167.0	23.6	83.33	124.43	5.0	24.0
13	A98 x 21-1	2.42	1906.7	23.0	88.50	119.33	8.23	25.88
14	A98 x Pan 37	4.20 ab	2392.3	31.1abc	88.17	229.33	7.92	23.42
15	A96 x 14-3	3.14	1964.8	22.8	84.33	124.50	7.80	23.52
16	A96 x 12 A	2.40	1035.8	24.9	87.0	129.28	12.10	25.80
17	A96 x 106-2	2.32	1391.7	21.2	89.67	131.40	5.18	23.50
18	A96 x 124-2	3.89	1883.8	25.2	84.0	146.87	9.48	27.62
19	A96 x IA28	2.87	2316.8	24.4	85.50	121.02	5.37	25.68
20	A96 x 21-1	3.02	1641.0	21.3	89.50	123.03	11.32	25.30
21	A96 x Pan 37	3.27	2557.5abc	29.1	88.0	217.18	3.70	22.0
22	A16 x 14-3	3.18	1466.0	25.8	84.50	130.25	10.08	23.60
23	A16 x 12 A	2.33	983.3	23.1	85.0	123.13	11.08	26.70
24	A16 x 106-2	2.81	1640.2	23.0	88.17	136.13	5.58	23.45
25	A16 x 124-2	3.11	2074.5	29.3	84.17	134.70	10.58	25.77
26	A16 x IA28	3.39	1607.5	24.2	85.67	127.28	8.32	24.90
27	A16 x 21-1	2.59	1748.2	24.9	88.33	117.03	12.0	24.62
28	A16 x Pan 37	4.0	2441.8	32.8a	87.17	205.82	8.5	24.68

29	A68 x 14-3	3.15	2093.2	22.6	88.0	127.90	5.50	32.22
30	A68 x 12 A	2.46	1679.0	22.4	85.83	134.80	5.95	33.57
31	A68 x 106-2	2.81	2167.3	20.1	88.83	128.20	0.58	32.27
32	A68 x 124-2	3.72	2644.3a	24.8	87.50	160.12	6.23	32.23
33	A68 x IA28	3.20	2587.3ab	20.5	91.0	122.20	4.52	33.03
34	A68 x 21-1	2.24	1549.2	20.8	90.33	126.60	6.98	28.45
35	A68 x Pan 37	3.01	2591.7ab	27.3	91.33	231.43	3.15	28.53
36	A626 x 14-3	2.93	2114.8	18.6	88.83	113.10	4.73	26.0
37	A626 x 12 A	3.0	1066.7	23.3	88.0	131.85	8.67	25.67
38	A626 x 106-2	2.08	1517.0	18.6	92.0	134.37	2.72	25.0
39	A626 x 124-2	3.12	1780.8	24.9	85.67	159.47	11.35	27.42
40	A626 x IA28	3.06	1981.2	19.9	88.33	119.32	5.70	26.12
41	A626 x 21-1	2.16	1426.3	22.6	87.0	111.0	7.73	25.82
42	A626 x Pan 37	3.84	2512.0	28.6	90.17	216.20	2.70	26.20
43	A625 x 14-3	2.70	2158.7	23.5	90.0	129.63	3.45	30.90
44	A625 x 12 A	2.67	2038.0	22.2	92.0	129.67	4.33	31.68
45	A625 x 106-2	1.93	2199.0	19.4	94.83	124.37	0.40	31.17
46	A625 x 124-2	2.42	2391.8	20.3	92.67	122.63	0.92	28.85
47	A625 x IA28	2.85	2332.3	21.0	89.33	122.23	4.98	29.58
48	A625 x 21-1	2.85	1799.7	21.1	89.67	125.93	6.53	30.35
49	A625 x Pan 37	2.97	2370.8	30.1	92.33	238.03	1.43	26.63
Líneas B								
50	B92	2.15	1383.2	21.0	85.83	107.57	11.48	22.47
51	B98	1.71	818.8	24.6	86.0	121.98	10.0	17.52
52	B96	2.07	881.0	23.3	86.83	118.85	7.82	18.95
53	B16	-	-	-	92.50	102.67	5.03	21.97
54	B68	1.47	1351.5	18.0	93.83	113.88	1.47	35.27
55	B626	2.19	959.3	14.0	90.17	110.6	2.48	22.5
56	B625	1.62	1224.5	22.2	92.67	103.65	0.6	28.63
Líneas R								
57	14-3	2.40	1089.7	22.9	90.0	80.95	0.35	22.95
58	12 A	2.73	1199.3	24.0	85.33	128.72	8.73	28.02
59	106-2	1.80	1391.8	19.2	94.67	133.17	1.45	26.18
60	124-2	1.95	1529.2	23.6	85.50	128.3	10.68	24.15
61	IA28	2.12	1602.3	22.8	89.17	77.62	0.3	21.98
62	21-1	1.99	1116.7	21.1	92.33	107.12	6.18	28.33
63	Pan 37	1.68	1041.5	28.7	91.33	160.65	1.88	15.8
Testigos								
64	RB Norteño	3.22	1172.0	28.2	84.67	128.53	12.55	21.75
65	RB Huasteco	2.51	1478.0	26.7	87.33	130.62	11.87	33.03
66	83 G19 Pionner	3.53	1438.8	26.3	85.33	118.63	10.73	27.13

Media	2.81	1747.4	24.1	88.26	135.53	6.44	26.27
C.V (%)	28.6	26.7	11.3	9.70	9.38	45.37	9.26
DMS		1117.5	6.6	7.59	30.66	7.04	5.87

RTO = Rendimiento de grano en t ha⁻¹; NGP = Número de granos por panoja; PMG = Peso de mil granos en gramos; DF = Días a 50 % de floración; AP = Altura de planta en cm; EP = Excursión de panoja en cm; LP = Longitud de panoja en cm

Cuadro A.2 Aptitud combinatoria específica (ACE) de 49 cruzas de sorgo para siete características agronómicas. Diseño II de Carolina del Norte. Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014.

Cruzas	RTO	NGP	PMG	DF	AP	EP	LP
H x M	(t ha ⁻¹)		(g)	(50 %)	(cm)	(cm)	(cm)
A92 x 14-3	-0.35	103.8	-1.47*	0.85	-4.97*	2.02*	-1.25*
A92 x 12 A	0.51*	130.7	0.91	-0.15	4.98*	-2.41*	2.73*
A92 x 106-2	-0.25	-45.0	2.12*	-0.08	2.69	0.41	0.16
A92 x 124-2	0.67*	56.9	-0.09	0.21	5.95*	0.92	-0.39
A92 x IA28	-0.33	-91.5	-2.18*	-0.53	2.25	2.44*	-0.67*
A92 x 21-1	-0.31	-99.4	2.82*	0.52	-3.85	-1.60*	0.62
A92 x Pan 37	0.09	-55.4	-2.11*	-0.82	-7.05*	-1.71*	-1.20*
A98 x 14-3	0.29	-104.8	-1.14*	-0.44	-1.74	-1.11*	0.60
A98 x 12 A	-0.79*	-158.5*	0.94	1.23	-2.13	1.46*	-1.39*
A98 x 106-2	0.20	32.7	0.20	-0.70	-5.76*	-0.75	-0.54
A98 x 124-2	0.21	66.7	1.89*	-0.41	12.0*	-1.52*	1.31*
A98 x IA28	0.20	9.8	-0.10	-1.82	-2.24	-1.18*	-1.20*
A98 x 21-1	-0.41*	237.7*	-1.62*	1.40	-4.07	-0.43	0.90*
A98 x Pan 37	0.31	-83.2	-0.20	0.73	3.95	3.52*	0.31
A96 x 14-3	0.04	114.0	0.08	-1.23	1.06	-0.26	-0.97*
A96 x 12 A	-0.21	-210.7*	0.77	0.77	-0.74	2.31*	-0.53
A96 x 106-2	-0.15	-280.4*	-0.32	0.68	1.42	0.78	-0.88*

A96 x 124-2	0.38	-187.5*	-0.59	-1.20	-1.19	0.31	1.69*
A96 x IA28	-0.27	276.6*	2.27*	-0.44	-1.09	-2.23*	0.82*
A96 x 21-1	0.50*	89.0	-1.61*	1.61	4.18	1.24*	0.66*
A96 x Pan 37	-0.31	199.0*	-0.59	-0.23	-3.63	-2.12*	-0.77*
A16 x 14-3	0.01	-266.2*	1.05	-0.41	9.52*	0.42	-0.98*
A16 x 12 A	-0.35	-144.6	-2.95*	-0.58	-4.18	-0.31	0.28
A16 x 106-2	0.27	86.7	-0.53	-0.17	8.83*	-0.42	-1.02*
A16 x 124-2	-0.47*	121.8	1.41*	-0.38	-10.65*	-0.19	-0.25
A16 x IA28	0.18	-314.1*	0.04	0.38	7.87*	-0.88	-0.05
A16 x 21-1	0.0	314.8*	-0.06	1.59	0.89	0.32	0.19
A16 x Pan 37	0.34	201.9*	1.12*	-0.41	-12.28*	1.08*	1.82*
A68 x14-3	0.10	-117.6	1.40*	0.32	-0.95	0.59	1.05*
A68 x 12 A	-0.10	72.5	-0.25	-2.52	-0.64	-0.69	0.56
A68 x 106-2	0.39*	135.2	0.12*	-2.28	-7.19*	-0.67	1.21*
A68 x 124-2	0.26	213.0*	0.42	0.18	6.63*	0.21	-0.38
A68 x IA28	0.11	187.1*	-0.08	2.94*	-5.33*	0.07	1.49*
A68 x 21-1	-0.23	-362.8*	-0.68	0.32	2.33	0.05	-2.87*
A68 x Pan 37	-0.52*	-126.8	-0.95	0.98	5.19*	0.48	-1.08*
A626 x 14-3	-0.06	320.1*	-2.34*	1.13	-9.19*	-1.71*	0.25
A626 x 12 A	0.51*	-123.7	0.95	0.13	2.96	0.50	-1.92*
A626 x 106-2	-0.28	-99.0	-1.13*	1.37	5.53*	-0.06	-0.64
A626 x 124-2	-0.28	-234.4*	0.84	-1.17	12.54*	3.80*	0.23
A626 x IA28	0.03	-2.9	-0.45	0.75	-1.65	-0.28	0.0004
A626 x 21-1	-0.25	-69.6	1.40*	-2.53	-6.70*	-0.73	-0.08
A626 x Pan 37	0.36	209.6*	0.72	0.30	-3.47	-1.50*	2.17*
A625 x 14-3	-0.04	-49.0	2.40*	-0.25	6.30*	0.09	1.30*
A625 x 12 A	0.42*	434.6*	-0.30	1.08	-0.24	-0.76	0.24

A625 x 106-2	-0.18	170.0*	-0.44	1.15	-5.49*	0.70	1.68*
A625 x 124-2	-0.73*	-36.4	-3.86*	2.78	-25.32*	-3.55*	-2.19*
A625 x IA28	0.07	-64.8	0.50	-1.30	0.22	2.08*	-0.39
A625 x 21-1	0.69*	-109.2	-0.26	-2.91*	7.19*	1.15*	0.60
A625 x Pan 37	-0.25	-344.6*	2.0*	-0.59	17.32*	0.31	-1.25*
Error estándar	0.19	78.6	0.50	1.42	2.38	0.50	0.32

*Más grande que 2 x error estándar

Cuadro A.3 Porcentaje de heterosis de híbridos de sorgo con respecto a la media de ambos progenitores. Diseño II de Carolina del Norte. Rio Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Coahuila. 2014.

Cruzas	RTO	NGP	PMG	DF	AP	EP	LP
H x M	(t ha ⁻¹)		(g)	(50 %)	(cm)	(cm)	(cm)
A92 x 14-3	32.75*	55.18*	14.81*	-0.66	22.08*	74.47*	8.10*
A92 x 12 A	38.93*	3.88	28.8*	1.66*	11.40*	-24.59	20.13*
A92 x 106-2	26.07*	14.68*	37.21*	-0.46	7.40*	-21.89	6.27*
A92 x 124-2	117.07*	43.68*	33.27*	0.78	27.72*	-6.77	15.19*
A92 x IA28	44.26*	28.14*	9.13*	-1.34*	30.65*	74.53*	14.73*
A92 x 21-1	19.81*	13.34*	41.33*	0.28	3.96	-1.24	4.61*
A92 x Pan 37	105.74*	87.01*	27.04*	-0.28	56.86*	-34.88	19.57*
A98 x 14-3	80.05*	95.23*	-2.31	-1.18*	24.43*	6.86	25.67*
A98 x 12 A	-4.05	19.42*	9.79*	10.41*	5.66*	4.96	11.02*
A98 x 106-2	69.80*	64.82*	6.53*	2.94*	0.94	-61.05*	10.66*
A98 x 124-2	120.22*	92.08*	21.87*	2.23*	31.56*	-39.75	32.37*
A98 x IA28	90.60*	79.01*	-0.21	-1.58*	24.68*	-2.91	21.52*
A98 x 21-1	30.81*	97.02*	0.57	6.20*	4.17	1.73	12.89*
A98 x Pan 37	147.79*	157.19*	16.88*	3.12*	62.28*	33.33	40.58*

A96 x 14-3	40.49*	99.40*	-1.38	-1.65*	24.62*	90.94*	12.27*
A96 x 12 A	0	-0.42	5.16*	10.24*	4.44	46.22	9.86*
A96 x 106-2	19.90*	22.46*	-0.38	4.98*	4.28	11.76	4.14*
A96 x 124-2	93.53*	56.32*	7.67*	1.72*	18.85*	2.49	28.17*
A96 x IA28	36.99*	86.59*	5.77*	0.49	23.19*	32.27	25.48*
A96 x 21-1	48.77*	64.29*	-3.83	6.86*	8.89*	61.71*	7.02*
A96 x Pan 37	74.4*	166.06*	12*	2.43*	55.41*	-23.71	26.62*
A16 x 14-3				-4.61*	41.87*	274.72*	5.07*
A16 x 12 A				3.97*	6.43*	61.05*	6.82*
A16 x 106-2				-0.09	15.42*	72.22*	-2.60
A16 x 124-2				-1.46*	16.64*	34.69	11.75*
A16 x IA28				-2.55*	41.19*	212.19*	13.31*
A16 x 21-1				2.59*	11.57*	114.09*	-0.91
A16 x Pan 37				-1.78*	56.33*	146.02*	30.68*
A68 x 14-3	62.79*	71.49*	10.61*	-3.03*	31.29*	504.39*	10.68*
A68 x 12 A	17.14*	31.64*	6.52*	2.28*	11.13*	16.67	6.08*
A68 x 106-2	71.86*	58.01*	8.22*	-1.75*	3.78	-60.27*	5.03*
A68 x 124-2	117.54*	83.59*	19.13*	-0.09	32.23*	2.55	8.48*
A68 x IA28	78.27*	75.18*	0.73	1.02	27.62*	410.73*	15.39*
A68 x 21-1	29.48*	25.53*	6.39*	1.78*	14.57*	82.48*	-10.53*
A68 x Pan 37	91.11*	116.61*	16.83*	0.46	68.60*	88.06*	11.10*
A626 x 14-3	27.69*	106.42*	0.70	1.04	18.09*	234.27*	14.41*
A626 x 12 A	22.36*	-1.17	22.47*	9.20*	10.19*	54.68	1.62
A626 x 106-2	4.26	29.04*	11.93*	5.64*	10.24*	38.42	2.71
A626 x 124-2	50.72*	43.12*	32.45*	1.68*	33.50*	72.49*	17.56*
A626 x IA28	41.99*	54.68*	8.04*	1.82*	26.79*	310.07*	17.45*
A626 x 21-1	3.35	37.41*	28.66*	1.85*	1.96	78.52*	1.59

A626 x Pan 37	97.93*	151.10*	34.19*	2.95*	59.41*	23.85	36.81*
A625 x 14-3	34.33*	86.56*	4.08*	1.50*	40.44*	626.31*	19.81*
A625 x 12 A	22.76*	68.16*	-4.02*	12.42*	11.61*	-7.18	11.84*
A625 x 106-2	12.86*	68.10*	-6.18*	7.35*	5.03	-60.97*	13.74*
A625 x 124-2	35.57*	73.71*	-11.13*	8.38*	5.74*	-83.69*	9.32*
A625 x IA28	52.41*	65.01*	-6.75*	1.51*	34.86*	1006.67*	16.89*
A625 x 21-1	57.89*	53.74*	-2.68	3.46*	19.49*	92.62*	6.57*
A625 x Pan 37	80*	109.25*	18.19*	3.93*	80.12*	15.32	19.87*
Error estándar	5.30	5.79	1.90	0.53	2.80	27.71	1.46

*Más grande que 2 x error estándar

Cuadro A.4 Cuadrados medios y significancia estadística de los análisis de varianza de genotipos de sorgo para siete características agronómicas estudiadas. Rio Bravo, Tamaulipas. 2014.

F.V	gl	RTO (t ha ⁻¹)	NGP	PMG (g)	DF (50%)	AP (cm)	EP (cm)	LP (cm)
REP	2	0.2 ns	119951.3 ns	24.3**	11.9 ns	161.9 ns	134.4**	25.4*
TRAT	65	3.1**	758505.2**	38.4**	33.8**	3425.3**	63.8**	50.7**
ERROR	130	1.0	173950.8	6.1	9.4	172.8	9.8	6.3
Media		3.61	1766.77	25.51	79.41	147.52	8.07	26.95
R ²		0.60	0.69	0.76	0.64	0.91	0.77	0.80
C.V (%)		27.9	23.61	9.69	3.87	8.91	38.80	9.32

*, ** Significativo al 5 y 1 %, respectivamente; gl = Grados de libertad; RTO = Rendimiento de grano en t ha⁻¹; NGP = Número de granos por panoja; PMG = Peso de mil granos en gramos; DF = Días a 50 % de floración; AP = Altura de planta en cm; EP = Excursión de panoja en cm; LP = Longitud de panoja en cm

Cuadro A.5 Promedio de rendimiento y características agronómicas de híbridos, líneas parentales y testigos. Rio Bravo, Tamaulipas. 2014.

No.	Híbridos/Padres	RTO t ha ⁻¹	NGP	PMG (g)	DF	AP (cm)	EP (cm)	LP (cm)
1	A92 x 14-3	3.89	2076.3	24.0	78.33	123.93	9.33	25.53
2	A92 x 12 A	4.77	1477.3	30.4	75.33	147.33	10.67	28.93
3	A92 x 106-2	2.83	1649.0	26.6	82	142.33	8.0	26.47
4	A92 x 124-2	5.80 a	1955.0	29.4	77.33	166.57	16.10	25.93
5	A92 x IA28	4.30	2283.0	23.8	77.67	129.40	9.33	27.57
6	A92 x 21-1	3.32	1552.7	29.2	80.0	118.73	8.0	27.27
7	A92 x Pan 37	4.46	2100.7	31.3abc	82.33	222.27	6.17	24.67
8	A98 x 14-3	5.31 abc	1836.3	24.4	77.33	140.40	7.4	25.53
9	A98 x 12 A	3.37	1246.7	30.2	74.67	148.13	13.53	26.47
10	A98 x 106-2	3.96	1439.3	26.7	79.33	140.40	3.80	23.80
11	A98 x 124-2	4.67	1846.0	29.3	75.33	171.73	8.33	28.80
12	A98 x IA28	5.58 ab	2685.0	24.1	76.33	141.0	6.0	25.53
13	A98 x 21-1	3.22	1963.3	28.8	77.33	136.53	12.27	25.40
14	A98 x Pan 37	4.40	2056.3	32.2ab	82.33	227.87	9.07	23.93
15	A96 x 14-3	4.41	2086.7	22.5	75.33	133.80	6.47	25.47
16	A96 x 12 A	3.73	1201.7	29.9	75.33	146.67	15.53	26.03
17	A96 x 106-2	3.25	1455.3	24.8	78.0	43.0	8.13	22.67
18	A96 x 124-2	5.14	1836.3	25.8	75.33	168.87	12.5	29.47
19	A96 x IA28	3.36	2046.0	24.5	76.67	131.47	5.73	28.60
20	A96 x 21-1	4.18	1809.7	26.8	78.0	136.73	15.07	25.27
21	A96 x Pan 37	4.73	1953.3	28.2	81.33	220.0	6.40	20.47
22	A16 x 14-3	4.63	1375.0	28.5	76.0	141.07	10.50	24.73
23	A16 x 12 A	3.24	1226.3	28.4	73.67	129.93	11.13	27.40

24	A16 x 106-2	4.20	1824.7	28.4	79.67	143.27	6.93	24.0
25	A16 x 124-2	3.66	2069.7	31.5abc	75.0	143.73	11.60	26.40
26	A16 x IA28	4.85	1613.7	27.1	76.67	136.80	7.87	26.47
27	A16 x 21-1	3.53	1494.3	28.9	77.0	128.60	15.80	25.20
28	A16 x Pan 37	4.27	2299.7	33.0 a	82.0	228.73	10.33	25.80
29	A68 x 14-3	4.16	2866.0abc	21.1	83.67	140.47	3.33	36.0
30	A68 x 12 A	3.65	1757.3	25.2	76.0	144.13	10.0	31.47
31	A68 x 106-2	3.51	2098.0	22.5	80.0	132.87	0.93	32.83
32	A68 x 124-2	4.26	2167.0	24.8	78.33	171.53	8.47	32.80
33	A68 x IA28	4.54	3135.3a	19.9	83.67	133.20	3.27	36.40
34	A68 x 21-1	3.10	1544.0	25.1	78.0	139.73	10.53	28.67
35	A68 x Pan 37	2.21	1435.3	27.5	83	242.0	4.40	29.27
36	A626 x 14-3	4.13	2528.3	18.1	83.0	126.53	4.47	28.0
37	A626 x 12 A	4.84	1685.0	26.2	77.67	148.50	10.57	25.77
38	A626 x 106-2	3.29	1776.0	22.5	80.67	139.50	3.67	27.0
39	A626 x 124-2	3.76	1565.0	23.4	77.33	164.93	13.17	28.60
40	A626 x IA28	4.35	2111.0	20.2	84.33	132.20	5.53	27.67
41	A626 x 21-1	3.15	1586.0	25.7	77.33	125.20	11.47	25.27
42	A626 x Pan 37	3.95	1907.0	28.8	83.33	231.73	5.40	24.73
43	A625 x 14-3	3.16	3095.3ab	19.7	83.67	134.60	0.47	34.0
44	A625 x 12 A	3.75	2432.3	24.5	83.33	143.87	6.0	32.03
45	A625 x 106-2	2.07	1982.3	21.2	82.0	135.07	0.8	31.87
46	A625 x 124-2	2.64	2418.3	21.7	84.0	142.27	1.73	29.80
47	A625 x IA28	3.81	2384.7	24.6	80.33	135.47	6.53	28.40
48	A625 x 21-1	3.79	2281.3	21.9	80.67	143.33	10.40	31.80
49	A625 x Pan 37	1.70	1105.7	30.0	84.0	258.27	2.40	26.93

Líneas B

50	B92	2.82	1669.0	21.8	76.33	120.33	13.40	23.27
51	B98	2.76	906.0	26.5	77.0	131.73	13.20	17.47
52	B96	3.34	958.7	27.7	77.0	130.27	10.53	19.60
53	B16	1.26	1251.3	27.0	78.67	123.13	10.07	22.03
54	B68	1.96	1807.7	21.6	84.0	118.33	1.73	39.20
55	B626	2.62	1435.3	16.6	83.0	143.20	3.07	22.57
56	B625	2.07	1273.3	22.3	83.0	112.93	0.87	29.03
Líneas R								
57	14-3	3.42	1569.3	20.6	84.67	85.33	0.13	25.13
58	12 A	3.26	1188.3	26.8	71	138.87	11.47	27.50
59	106-2	1.91	1226.7	20.9	84.0	137.47	2.0	26.60
60	124-2	2.45	1451.0	22.5	78.33	139.47	14.93	24.07
61	IA28	3.07	1703.7	24.1	83.33	84.70	0.07	22.97
62	21-1	2.95	1343.3	24.3	80.67	127.33	9.93	31.67
63	Pan 37	1.28	766.7	27.8	85.0	181.07	1.2	16.60
Testigos								
64	RB Norteño	4.34	1221.7	27.4	76.0	139.60	16.0	21.83
65	RB Huasteco	2.89	1205.0	25.5	82.0	135.0	13.40	29.73
66	83 G19 Pionner	5.31abc	1309.0	26.6	77.0	131.40	14.13	26.70
	Media	3.61	1766.8	25.5	79.41	147.52	8.07	26.95
	C.V (%)	27.9	23.6	9.7	3.87	8.91	38.80	9.32
	DMS	3.48	1440.5	8.5	10.61	45.40	10.82	8.67

RTO = Rendimiento de grano en t ha⁻¹; NGP = Número de granos por panoja; PMG = Peso de mil granos en gramos; DF = Días a 50 % de floración; AP = Altura de planta en cm; EP = Excursión de panoja en cm; LP = Longitud de panoja en cm

Cuadro A.6 Cuadrados medios y significancia estadística de los análisis de varianza de genotipos de sorgo para siete características agronómicas estudiadas. Buenavista, Coahuila. 2014.

F.V	gl	RTO (t ha ⁻¹)	NGP	PMG (g)	DF (50%)	AP (cm)	EP (cm)	LP (cm)
REP	2	0.04 ns	25654.5 ns	61.2**	45.2**	455.9*	31.0**	15.5 ns
TRAT	65	1.9**	1556602.1**	72.1**	44.5**	3465.4**	33.1**	45.4**
ERROR	130	0.2	259993.8	8.9	10.4	150.8	7.2	5.5
Media		1.97	1720.2	22.8	97.11	123.54	4.81	25.60
R ²		0.79	0.75	0.80	0.69	0.92	0.70	0.80
C.V (%)		25.9	29.6	13.1	3.32	9.94	56.04	9.20

*, ** Significativo al 5 y 1 %, respectivamente; gl = Grados de libertad; RTO = Rendimiento de grano en t ha⁻¹; NGP = Número de granos por panoja; PMG = Peso de mil granos en gramos; DF = Días a 50 % de floración; AP = Altura de planta en cm; EP = Excursión de panoja en cm; LP = Longitud de panoja en cm.

Cuadro A.7 Promedio de rendimiento y características agronómicas de híbridos, líneas parentales y testigos. Buenavista, Coahuila. 2014.

No.	Híbridos/Padres	RTO t ha ⁻¹	NGP	PMG (g)	DF (50%)	AP (cm)	EP (cm)	LP (cm)
1	A92 x 14-3	2.15	1761.0	26.4	96.33	106.20	11.30 a	23.57
2	A92 x 12 A	2.0	1205.3	27.5	98.67	115.90	4.57	31.80 abc
3	A92 x 106-2	2.15	1533.3	28.5	97.67	116.23	2.10	25.23
4	A92 x 124-2	3.10	2229.7	30.0	95.33	134.70	4.57	27.77
5	A92 x IA28	1.87	1542.7	24.0	95.0	112.57	11.23 a	23.43
6	A92 x 21-1	1.65	1280.7	30.3abc	98.67	104.47	9.43	25.87
7	A92 x Pan 37	3.42	2433.7	31.9ab	94.33	198.47	2.53	21.10
8	A98 x 14-3	2.09	1889.7	22.0	91.33 ab	112.10	3.67	25.33
9	A98 x 12 A	0.89	1163.3	23.1	98.67	116.77	6.13	24.10
10	A98 x 106-2	2.0	2207.3	19.9	95.67	117.13	0.67	24.57
11	A98 x 124-2	3.39	2664.0	29.4	92.67	157.53	4.13	26.37
12	A98 x IA28	1.72	1649.0	23.2	90.33 a	107.87	4.0	22.47
13	A98 x 21-1	1.61	1850.0	17.2	99.67	102.13	4.20	26.37
14	A98 x Pan 37	4.01 ab	2728.3	30.1	94.0	230.80	6.77	22.90
15	A96 x 14-3	1.87	1843.0	23.1	93.33	115.20	9.13	21.57
16	A96 x 12 A	1.07	870.0	19.8	98.67	111.90	7.67	25.57
17	A96 x 106-2	1.41	1328.0	17.5	101.33	118.53	2.23	24.33
18	A96 x 124-2	2.64	1931.3	24.7	92.67	124.87	6.47	25.77
19	A96 x IA28	2.38	2587.7	24.40	94.33	110.57	5.0	22.77
20	A96 x 21-1	1.86	1472.3	15.9	101.0	109.33	7.57	25.33
21	A96 x Pan 37	1.81	3161.7abc	30.1	94.67	214.37	1.0	23.53
22	A16 x 14-3	1.74	1557.0	23.1	93.0	119.43	9.67	22.47
23	A16 x 12 A	1.43	740.3	17.8	96.33	116.33	11.03 ab	26.0

24	A16 x 106-2	1.42	1455.7	17.5	96.67	129.0	4.23	22.90
25	A16 x 124-2	2.56	2079.3	27.1	93.33	125.67	9.57	25.13
26	A16 x IA28	1.93	1601.3	21.2	94.67	117.77	8.77	23.33
27	A16 x 21-1	1.64	2002.0	20.9	100.67	105.47	8.20	24.63
28	A16 x Pan 37	3.72	2584.0	32.7a	92.33	182.90	6.67	23.57
29	A68 x 14-3	2.14	1320.3	24.1	92.33 abc	115.33	7.67	28.43
30	A68 x 12 A	1.27	1600.7	19.5	95.67	125.47	1.90	35.67 ab
31	A68 x 106-2	2.12	2236.7	17.7	97.67	123.53	0.23	31.70
32	A68 x 124-2	3.19	3121.7abc	24.8	96.67	148.70	4.0	31.67
33	A68 x IA28	1.86	2039.3	21.2	98.33	111.20	5.77	29.67
34	A68 x 21-1	1.37	1554.3	16.5	102.67	113.47	3.43	28.23
35	A68 x Pan 37	3.81abc	3748.0a	27.1	99.67	220.87	1.90	27.80
36	A626 x 14-3	1.73	1701.3	19.1	93.67	99.67	5.0	24.0
37	A626 x 12 A	1.17	448.3	20.3	98.33	115.20	6.77	25.57
38	A626 x 106-2	0.88	1258.0	14.7	103.33	129.23	1.77	23.0
39	A626 x 124-2	2.48	1996.7	19.0	94.0	154.0	9.53	26.23
40	A626 x IA28	1.78	1851.3	19.5	92.33 abc	106.43	5.87	24.57
41	A626 x 21-1	1.17	1266.7	19.5	96.67	96.80	4.0	26.37
42	A626 x Pan 37	3.72abcd	3117.0abc	28.5	97.0	200.67	0.0	27.67
43	A625 x 14-3	2.24	1222.0	27.2	96.33	124.67	6.43	27.80
44	A625 x 12 A	1.59	1643.7	19.8	100.67	115.47	2.67	21.33
45	A625 x 106-2	1.80	2415.7	17.7	107.67	113.67	0.0	30.47
46	A625 x 124-2	2.20	2365.3	19.0	101.33	103.0	0.10	27.90
47	A625 x IA28	1.89	2280.0	17.4	98.33	109.0	3.43	30.77
48	A625 x 21-1	1.90	1318.0	20.3	98.67	108.53	2.67	28.90
49	A625 x Pan 37	4.23 a	3636.0ab	30.2abcd	100.67	217.80	0.47	26.33
Líneas B								
50	B92	1.48	1097.3	20.2	95.33	94.80	9.57	21.67
51	B98	0.67	731.7	22.7	95.0	112.23	6.80	17.57
52	B96	0.80	803.3	18.9	96.67	107.43	5.10	18.30
53	B16	-	-	-	106.33	82.20	0.0	21.90
54	B68	0.97	895.3	14.5	103.67	109.43	1.20	31.33
55	B626	1.77	483.3	11.3	97.33	78.0	1.90	22.43
56	B625	1.16	1175.7	22.1	102.33	94.37	0.33	28.23
Líneas R								
57	14-3	1.39	610.0	25.3	95.33	76.57	0.57	20.77
58	12 A	2.21	1210.3	21.3	99.67	118.57	6.0	28.53
59	106-2	1.70	1557.0	17.5	105.33	128.87	0.90	25.77
60	124-2	1.45	1607.3	24.8	92.67	117.13	6.43	24.23
61	IA28	1.17	1501.0	21.6	95.0	70.53	0.53	21.0
62	21-1	1.03	890.0	18.1	104.0	86.90	2.43	25.0
63	Pan 37	2.09	1316.3	29.6	97.67	140.23	2.57	15.0
Testigos								
64	RB Norteño	2.10	1122.3	29.1	93.33	117.47	9.10	21.67
65	RB Huasteco	2.13	1751.0	28.3	92.67	126.23	10.33	36.33 a
66	83 G19 Pionner	1.76	1568.7	25.9	93.67	105.87	7.33	27.57

Media	1.97	1720.2	22.8	97.11	123.54	4.81	25.59
C.V (%)	25.9	29.6	13.1	3.32	9.94	56.04	9.20
DMS	1.76	1758.7	10.3	11.14	42.41	9.30	8.13

RTO = Rendimiento de grano en $t\ ha^{-1}$; NGP = Número de granos por panoja; PMG = Peso de mil granos en gramos; DF = Días a 50 % de floración; AP = Altura de planta en cm; EP = Excursión de panoja en cm; LP = Longitud de panoja en cm