

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**HETEROSIS PARA RENDIMIENTO Y CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS
EN MAÍZ**

POR

ORI CARMELITA PÉREZ VERDUGO

TESIS

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

INGENIERO AGRÓNOMO

TORREON, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2012

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DE LA C. ORI CARMELITA PÉREZ VERDUGO ELABORADA BAJO
SUPERVISIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA Y APROBADA
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

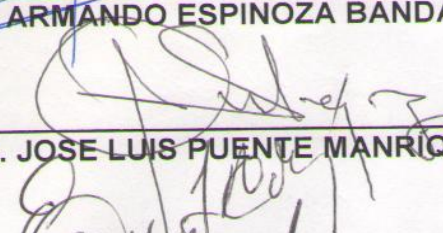
APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL.



DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

ASESOR.



DR. JOSE LUIS PUENTE MANRIQUEZ

ASESOR.



ING. ENRIQUE LEOPOLDO HERNÁNDEZ TORRES

ASESOR.



DR. HÉCTOR JAVIER MARTÍNEZ AGÜERO



**CORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS**



**Cordinación de la División de
Carreras Agronómicas**

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2012

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DE LA C. ORI CARMELITA PÉREZ VERDUGO QUE SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR Y APROBADA COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

COMITÉ PARTICULAR:

PRESIDENTE. _____


DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

VOCAL. _____


DR. JOSE LUIS PUENTE MANRÍQUEZ

VOCAL. _____


ING. ENRIQUE LEOPOLDO HERNÁNDEZ TORRES

VOCAL. _____


DR. HÉCTOR JAVIER MARTÍNEZ AGÜERO


CORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS



Cordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2012

DEDICATORIAS

A DIOS

Primeramente por darme la vida, y haberme permitido llegar a esta hermosa etapa de mi vida, por estar conmigo en todo momento así también por darme fuerzas y valor para superar cada uno de los obstáculos y retos que en algún momento se me presentaron tanto en mi carrera como a lo largo de mi vida, sobre todo por tu gran inmenso e infinito amor.

A mi madre Roselia Verdugo Pérez

A ti mamita por haberme brindado tu apoyo incondicional por estar conmigo en todo momento tanto en las buenas como en las malas, por haber depositado tu confianza en mí, porque con grandes sacrificios me sostuviste y siempre me diste palabras de aliento para luchar por mis sueños, gracias por ser siempre mi ejemplo a seguir, eres lo mejor que tengo en mi vida, y día a día le doy gracias a dios por haberme regalado una madre maravillosa, gracias por tu inmenso amor, por tu comprensión, por tus consejos, por tu guía. Gracias a ti hoy soy lo que soy y he llegado a cumplir uno de mis más grandes anhelos, mi carrera profesional, por lo cual te estaré eternamente agradecida ya que es la mejor herencia que me pudiste haber dado. Gracias mamita TE AMO.

A mi Padre Iber Francisco Pérez Bartolón

A ti papito porque el tiempo que dios permitió que estuvieras conmigo siempre me apoyaste y me enseñaste a luchar para alcanzar mis metas, por siempre haberme

demostrado tu gran amor y hoy sé que desde el cielo siempre me cuidas y me acompañas y al igual que yo te alegras por un logro más en mi vida. Gracias por tus consejos que siempre los llevo guardados en mi mente y corazón, lo que un día te prometí hoy es una realidad. Papito nuestro sueño esta cumplido.

A mis Hermanos

Isaí Antonio, Yoni Abraham, Iván Yovani e Iber Eduardo, a ustedes mis más sinceros agradecimientos por estar siempre conmigo, por su apoyo, su confianza, por siempre sacarme una sonrisa cuando más lo necesito y sobre todo por su inmenso amor que siempre me han demostrado, son los mejores hermanos que dios pudo haberme regalado, dios los bendiga, los amo.

A mis Abuelos

Con mucho cariño agradezco a mis abuelos, Eladía, Efraín y Edelmira por su apoyo incondicional y por cada uno de sus sabios consejos. Gracias por quererme tanto y demostrármelo día a día.

A toda mi familia

Un especial y sincero agradecimiento a todos mis tíos, primos, amigos, que me han acompañado a lo largo de mi carrera y de mi vida, y que siempre me impulsaron a ver hacia adelante, agradezco a mis tíos que me apoyaron tanto económico como emocionalmente.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Desde lo más profundo de mi corazón agradezco al rey de reyes y señor de señores por darme la vida y regalarme una familia maravillosa, por nunca haberme abandonado así también por darme la dicha de culminar satisfactoriamente una etapa más de mi vida, un sueño más, hecho realidad. Gracias dios te amo.

¿Cómo agradecer lo que hizo el señor por mí?, que sin merecer, derramo su sangre carmesí, un coro de un millón de ángeles, no expresara mi gratitud, pues todo lo que soy y un día anhelo ser se lo debo todo a él.

Porque de él, y por él, y para él, son todas las cosas a él sea la gloria por los siglos, amen. Romanos 11: 36

A mi "Alma Terra Mater"

Con mucho cariño a mi Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna por cobijarme durante cuatro años y medio, por haberme permitido realizar mis estudios profesionales dentro de sus instalaciones. Y también por darme las armas necesarias para enfrentarme al campo laboral.

Al M.C. Cesar Quiroz Márquez, gracias por su apoyo y tiempo brindado para la realización de dicho trabajo.

A mis asesores

Un especial agradecimiento al Dr. Armando Espinoza Banda, por darme la oportunidad y confianza de realizar este trabajo de investigación, por su paciencia y apoyo brindado para la culminación satisfactoria de dicho trabajo así también por sus consejos y enseñanza académica. Dios lo bendiga siempre.

Al Dr. José Luis Puente Manríquez, Ing. Enrique Leopoldo Hernández Torres, Dr. Héctor Javier Martínez Agüero. Por haberme brindado su confianza y su gran apoyo para la asesoría del presente trabajo, así también por contribuir en mi formación profesional.

A mis maestros

A todos y cada uno de mis maestros gracias por transmitirme sus conocimientos y por prepararme diariamente para una buena formación profesional, gracias por su paciencia y dedicación a lo largo de mi carrera.

A mis amigos

Un especial agradecimiento a mis amigas Elizabeth, Blanca, Lucia, Karen y Norma por su amistad y apoyo incondicional que me brindaron a lo largo de mi carrera, por todos y cada uno de los bellos momentos que pasamos juntas, por compartir conmigo parte de su vida, le doy gracias a dios por haberme dado la oportunidad de conocerlas, las quiero mucho y siempre las llevare en mi corazón, DIOS las bendiga.

A todos y cada uno de mis amigos y compañeros de generación, gracias por su apoyo y amistad brindada durante estos cuatro años y medio, DIOS los cuide y los proteja donde quiera que vallan, siempre los recordare.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIAS	ii
AGRADECIMIENTOS	iv
INDICE DE CUADROS	ix
INDICE DE CUADROS DEL APENDICE	x
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivo	4
1.2. Hipótesis.....	4
1.3. Meta	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Mejoramiento Genético	5
2.2. Híbridos.....	6
2.2.1. Tipos de Híbridos.....	6
2.2.1.1. Híbrido Simple	6
2.2.1.2. Híbrido Triple	6
2.2.1.3. Híbrido Doble	7
2.3. Heterosis.....	7
2.4. Patrones Heteróticos.....	10
2.5. Heredabilidad	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1. Localización del Experimento	13
3.2. Localización Geográfica de la Comarca Lagunera	13
3.3. Condiciones Ambientales	13
3.4. Material Genético	14
3.4.1 Líneas.....	14
3.5. Diseño Experimental.....	15
3.6. Análisis Estadístico.....	15
3.6.1. Diseño Genético	16
3.7. Manejo Agronómico	17
3.7.1. Siembra y Tamaño de la Parcela	17

3.7.2.	Preparación del Terreno	17
3.7.3.	Riegos.....	18
3.7.4.	Fertilización.....	18
3.7.5.	Control de Maleza	18
3.7.6.	Control de Plagas	18
3.7.7.	Cosecha.....	19
3.8.	Variables Evaluadas.....	19
3.8.1.	Altura de Planta y Mazorca	19
3.8.2.	Días a Floración Masculina y Femenina.....	19
3.8.3.	Diámetro de Mazorca.....	20
3.8.4.	Numero de Hileras por Mazorca	20
3.8.5.	Granos por Hileras.....	20
3.8.6.	Longitud de Mazorca.....	20
3.8.7.	Peso Hectolítrico.....	20
3.8.8.	Rendimiento de Grano en Kilogramos/hectáreas (REND).....	21
3.9.	Estimación de Heterosis	21
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION	23
4.1.	Análisis de Varianza.....	23
4.2.	Variables Agronómicas.....	24
4.2.1.	Altura de Planta (AP)	24
4.2.2.	Altura de Mazorca (AM)	24
4.2.3.	Floración masculina (FM) y Floración Femenina (FF)	25
4.2.4.	Diámetro de Mazorca (DM)	25
4.2.5.	Numero de Hileras por Mazorca (NHM)	26
4.2.6.	Granos por Hileras (GH)	26
4.2.7.	Longitud de Mazorca (LM)	27
4.2.8.	Peso Hectolitríco (PH).....	27
4.2.9.	Rendimiento (REND)	27
4.3.	Heterosis	30
4.3.1.	Altura de Planta (AP)	30
4.3.2.	Altura de Mazorca (AM)	30
4.3.3.	Floración Masculina (FM) y Floración Femenina (FF)	31
4.3.4.	Diámetro de Mazorca (DM)	32

4.3.5.	Numero de Hileras por Mazorca (NHM)	33
4.3.6.	Granos por Hileras (GH)	34
4.3.7.	Longitud de Mazorca (LM)	34
4.3.8.	Peso Hectolitríco (PH).....	35
4.3.9.	Rendimiento (REND)	36
V.	CONCLUSIONES	38
VI.	BIBLIOGRAFÍA	39
VII.	APÉNDICE	43

INDICE DE CUADROS

		Pagina
Cuadro 3.1	Temperaturas para la Comarca Lagunera en el año 2011.	14
Cuadro 3.2	Grupos de líneas utilizadas para el apareamiento genético del diseño-II de Carolina del Norte.	15
Cuadro 3.3	Progenitores hembras, machos y cruzas generadas de acuerdo al diseño-II de Carolina del norte.	15
Cuadro 3.4	Partición de los grados de libertad para los análisis	16
Cuadro 4.1	Cuadrados medios del análisis de varianza de nueve variables agronómicas y rendimiento en 36 genotipos de maíz.	23
Cuadro 4.2	Promedio de nueve variables agronómicas y rendimiento así mismo el pedigrí de 24 cruzas simples sus progenitores y la media de los testigos comerciales.	29
Cuadro 4.3.1	Heterosis promedio (H) y respecto al mejor progenitor (H') para la variable Altura de Planta (AP) y Altura de Mazorca (AM).	31
Cuadro 4.3.2	Heterosis media (H) y respecto al mejor progenitor (H') para la variable Floración Masculina (FM) y Floración Femenina (FF).	32
Cuadro 4.3.3	Heterosis media (H) y respecto al mejor progenitor (H') para la variable Diámetro de Mazorca (DM) y Número de Hileras por Mazorca (NHM).	33
Cuadro 4.3.4	Heterosis media (H) y respecto al mejor progenitor (H') para la variable Grano por Hilera (GH) y Longitud de Mazorca (LM).	35
Cuadro 4.3.5	Heterosis media (H) y respecto al mejor progenitor (H') para la variable Peso Hectolitrico (PH) y Rendimiento (REND).	36

INDICE DE CUADROS DEL APENDICE

		Pagina
Cuadro A1	Valores medios de 9 variables y rendimiento en 36 genotipos evaluados en la UAAAN-UL 2011.	43
Cuadro A2	Codificación para el diseño de alfa látice en lenguaje SAS 9.1.3.	45

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estimar los efectos del nivel de heterosis de 24 cruzas simples de maíz (*Zea mays L.*), con progenitores provenientes de diferente grupo genético, 6 del CIMMYT que fueron: AN-83-191, AN-77-185, CML-508-43, CML-509-44, AN-82-190, AN-78-186, y 4 de la UAAAN-UL que fueron: AN-A-30-01, AN-A-57-02, AN-A-18-05, AN-A-06-11; durante el año 2011. Los grupos se cruzaron bajo el esquema de apareamiento genético del diseño II de Carolina del Norte. Las cruzas fueron evaluadas en el campo experimental de la UAAAN-UL en Torreón, Coahuila, México; durante el ciclo primavera 2011, incluyendo progenitores y dos testigos comerciales. El diseño experimental fue un látice 6x6 con tres repeticiones. La parcela experimental consistió de 24 plantas distribuidas en una superficie de 2.25 m² (3 x 0.75) obteniendo un total de 108 parcelas; esto con el propósito de estudiar las características morfológicas y fisiológicas de cada craza, así como identificar las características con mayor variación. Las variables agronómicas evaluadas fueron: Altura de Planta (AP), Altura de Mazorca (AM), Floración Masculina (FM), Floración Femenina (FF), Diámetro de Mazorca (DM), Numero de Hileras por Mazorca (NHM), Granos por Hilera (GH), Longitud de Mazorca (LM), Peso Hectolitrito (PH) y Rendimiento (REND). Se observó que progenitores y cruzas fueron diferentes en características agronómicas y rendimiento de grano. En rendimiento las cruzas fueron superiores a los progenitores. En el estudio se encontraron valores superiores al 20% de heterosis. En rendimiento se observaron los valores más altos de heterosis con porcentajes que oscilan de 80 a 114.4, para lo cual las cruzas que presentaron mayor heterosis promedio y respecto al mejor progenitor fueron: 22x2, 22x3, 22x5 y 26x3.

Palabras clave: *Zea mays L.*, Vigor Híbrido, Cruzas, Rendimiento, Efectos Aditivos y no Aditivos.

I. INTRODUCCION

El maíz (*Zea mays L.*), es el tercer cultivo en importancia con base en su volumen de producción, al igual que el trigo y el arroz. Este cultivo se constituye en un alimento básico para el hombre y en una importante planta forrajera para los animales, además de sus otras utilidades (Foostat, 2005).

El maíz (*Zea mays L.*) es el cereal básico de la alimentación humana en el país, ocupando el segundo lugar después de Malawi (Morris, 1998), con un consumo *per cápita* de 127 kg (Pecina *et al.*, 2011).

Este grano se produce en dos ciclos productivos: Primavera-Verano y Otoño-invierno, bajo las más diversas condiciones agroclimáticas de humedad, temporal y riego (SIAP SAGARPA, 2008).

En México, la demanda de grano de maíz para consumo humano es alrededor de 25 millones de toneladas; sin embargo, sólo se producen cerca de 23 millones de toneladas (Peña *et al.*, 2010).

En la Comarca Lagunera de Coahuila durante los últimos cinco años se sembraron en promedio 578 hectáreas de maíz grano, 414 (72 %) de ellas se sembraron bajo condiciones de riego y el resto, 163 hectáreas (28 %) en condiciones de temporal. Los rendimientos fluctúan entre 4.0 y 10.0t ha⁻¹ para riego y temporal respectivamente (SIAP, 2011).

El uso de mejores tecnologías de producción y la explotación de la heterosis en el Maíz, en el mejoramiento de sus características genéticas y biotecnológicas tiene que justificarse ecológica y económicamente.

La heterosis se refiere al fenómeno donde la progenie de diversas variedades de una especie o cruces entre especies exhibe mayor biomasa, velocidad de desarrollo y la fertilidad que ambos padres. El fenómeno aparentemente ha sido reconocido en una forma u otra durante siglos por diferentes civilizaciones (Chen, 2010), pero ha estado bajo investigación científica desde Darwin (1876) en ausencia de la genética y para más de 100 años con consideraciones genéticas (Shull, 1908; Bruce, 1910; Jones, 1917). East (1936), quien resumió sus pensamientos sobre el tema hace casi 75 años y cuyas frustraciones con el estado de entendimiento del campo en ese momento parecen misteriosamente pertinentes la aún hoy.

Dos términos se utilizan rutinariamente en el debate sobre los modelos de la heterosis. Uno es el modelo llamado "dominancia", en el cual alelos recesivos en diferentes loci se complementan en el híbrido, y el segundo es el modelo llamado "sobredominancia", que postula que las interacciones entre alelos diferentes se producen en el híbrido, produciendo el aumento en vigor. Quizás el más popular de los dos es el concepto de dominancia (Charlesworth y Willis, 2009). En la versión extrema de este modelo, uno de los padres contiene copias del gen que faltan en el padre opuesto y así el híbrido contendría genes más que cualquiera de los padres (Fu y Dooner, 2002).

East (1936) sintetizó un gran número de estudios con la participación de muchas especies y concluyó que, en promedio, la heterosis aumenta con la disparidad genética de los existentes en los padres y los cruces interespecíficos muestran mayor heterosis que cruces intraespecífica.

La importancia de manejar grupos de líneas endogámicas con patrones heteróticos distintos ha permitido desarrollar estrategias de mejoramiento, para aprovechar la manifestación del vigor híbrido (Vasal *et al.*, 1992), y de esta forma traducirlos en propuestas para híbridos comerciales.

1.1. Objetivo

Determinar el nivel de heterosis para rendimiento y características agronómicas en híbridos de maíz.

1.2. Hipótesis

Ho: Los híbridos no difieren en el nivel de heterosis en características agronómicas y rendimiento.

Ha: Los híbridos difieren en el nivel de heterosis en características agronómicas y rendimiento.

1.3. Meta

Identificar las cruzas con mayor porcentaje de heterosis.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Mejoramiento Genético

El mejoramiento genético del maíz es un proceso continuo a través de la formación de híbridos y variedades para uso comercial. El conocimiento de la acción génica que controla los caracteres de interés económicos, es básico para la planeación de un programa de mejoramiento genético (De la Cruz, *et al.*, 2003).

Gutiérrez *et al.*,(2004)explica que para el mejoramiento de plantas es importante el conocimiento relativo al componente genético de los materiales usados como progenitores.

El mejoramiento genético de maíz por hibridación fue iniciado por Shull en 1909, con la obtención de líneas endogámicas poco productivas, y la formación de híbridos de cruce simple de mayor rendimiento que la variedad original. Sprague, (1955) explica que estos híbridos no se usaron comercialmente debido a que el bajo rendimiento de las líneas aumentaba el costo de producción de la semilla a lo que Jones, (1918) lo resolvió con el empleo de híbridos de cruce doble.

La hibridación es una herramienta de mejoramiento genético que permite la formación de genotipos de maíz para uso comercial; por esta razón, es importante el conocimiento relativo al componente genético de los materiales usados como progenitores.

2.2. Híbridos

Chávez y López (1995), señalan que el maíz híbrido es la primera generación de una cruce entre líneas autofecundadas, involucrando la producción de híbridos:

- a) La obtención de líneas autofecundadas por autopolinización controlada.
- b) La determinación de cuales de las líneas autofecundadas pueden combinarse en cruces positivas.
- c) Utilización comercial de las cruces para la producción de semilla.

2.2.1. Tipos de Híbridos:

2.2.1.1. Híbrido Simple

Es un híbrido creado mediante el cruzamiento de dos líneas endogámicas, la semilla de híbridos F1 es la que se vende a los agricultores para la siembra, por lo común los híbridos simples son más uniformes y tienden a presentar un mayor potencial de rendimiento en condiciones ambientales favorables.

2.2.1.2. Híbrido Triple

Se forma con tres líneas autofecundadas, es decir, son el resultado de un cruzamiento entre una cruce simple y una línea autofecundada. La cruce simple como hembra y la línea pura como macho. Con frecuencia, se pueden obtener mayores rendimientos con una cruce triple que con una cruce doble, aunque las plantas de una cruce triple no son tan uniformes como las de una cruce simple.

2.2.1.3. Hibrido Doble

El hibrido doble se forma a partir de cuatro líneas autofecundadas, es decir, es la progenie hibrida obtenida de una crusa entre dos cruzas simples. Los híbridos dobles no son tan uniformes como las cruzas simples, por lo que presentan mayor variabilidad; es importante señalar que una crusa simple produce mayor rendimiento que una triple y esta a su vez más que la doble.

2.3. Heterosis

Crees (1956) en su investigación con la fisiología de la acción génica en los híbridos, afirma que: las interacciones entre la actividad génica y el medio ambiente son muy importantes. El vigor hibrido generalmente se determina por caracteres como tamaño o rendimiento, pero estos son solo productos finales de los procesos metabólicos, cuyos patrones están en los genes. Estos procesos pueden verse acelerados, inhibidos o modificados por efecto de los factores ambientales.

La heterosis se considera como el fenómeno que ocurre cuando el hibrido supera a sus progenitores en características fenológicas de crecimiento, rendimiento y que resulta de la interacción de varios factores independientes diferente de los progenitores. Shull (1948) explica que si no hay incremento en las cruzas debe tratarse como otro fenómeno, pero no como heterosis; no hay heterosis negativa puesto que el vigor hibrido es resultado de la heterosis. La heterosis es la causa y el vigor hibrido su efecto.

El término grupo heterótico, Melchinger y Gumber, (1998) lo aplican a un conjunto de individuos que exhiben similar habilidad combinatoria y respuesta heterotica al ser cruzados con otros grupos germoplásmicos genéticamente diferentes. Mientras que el término patrón heterótico se refiere a un par

específico de grupos heteróticos que al ser cruzados muestran una alta heterosis facilitando el desarrollo de híbridos potenciales.

Hayes (1952), en un estudio del desarrollo del concepto de la heterosis, considera a esta como la expresión normal de un carácter complejo cuando los genes concernientes, están en condiciones de alta heterocigosis. Como la mayoría de los caracteres normales son el resultado de la acción, reacción e interacción de un número incontable de genes y como la mutación génica ocurre constantemente, aunque relativamente infrecuente, puede ser imposible obtener todos los genes esenciales en el estado más favorable de homocigosis.

Jugenheimer (1990), señala que la heterosis se manifiesta a si misma principalmente en las plantas de la generación F1 provenientes de semillas. La heterosis es un fenómeno en el cual el cruzamiento de dos variedades produce un híbrido que es superior en crecimiento, tamaño, rendimiento o en vigor general. El vigor, el rendimiento y la mayoría de los caracteres de importancia económica del maíz son de naturaleza cuantitativa y están controlados por un gran número de genes. Los efectos de estos genes pueden diferir ampliamente. La acción génica puede ser aditiva, no aditiva o aditiva de dominancia. El grado de dominancia, la epistasis y las interacciones genético-ambientales se suman a la complejidad del fenómeno de la heterosis.

Gómez y Valdivia (1988), mencionan que para obtener mejor respuesta heterotica sería conveniente combinar germoplasma proveniente de diferentes áreas de adaptación para dar oportunidad de explotar al máximo la heterosis.

Sobre lo mismo Puertas (1992), señala que el cruzamiento de algunas líneas endogámicas produce híbridos de caracteres muy superiores, no solo a los de las líneas parentales, sino también a las poblaciones iniciales de donde se obtuvieron las líneas endogámicas. Este fenómeno se conoce como vigor híbrido o heterosis.

Vasal y Córdova (1996) señalan que de tiempo en tiempo han sido expresados varios conceptos, definiciones y explicaciones de la heterosis y a menudo de maneras contradictorias. Por lo que los genetistas cuantitativistas ven la heterosis de manera diferente que los fitomejoradores prácticos, quienes están interesados en la identificación de híbridos que son superiores al mejor de los progenitores. También han sido mencionadas varias variantes de heterosis, tales como euterosis y heterobeltiosis, pero en la práctica el uso de estos términos es nulo.

Robles (1986), explica que la heterosis desde el punto de vista fisiológico tiene un estímulo sobre las actividades del organismo, por ejemplo la expresión de una mayor actividad metabólica y el aumento en la reproducción celular y los mecanismos genéticos para explicar este fenómeno se resumen en tres teorías:

- A. Teoría de la sobredominancia o heterocigosis.
- B. Teoría de la dominancia.
- C. Teoría intralelica con aditividad.

Estudios de Vasal *et al.* (1993) encontraron valores máximos de heterosis en poblaciones de maíz tropical para alta calidad de proteína (QPM) de 19.7% para rendimiento de grano y de cruzas entre germoplasma templado,

tropical y subtropical se ha obtenido entre 18.5 y 38.3% de heterosis (Malik *et al.*, 2004).

Al respecto Gutiérrez *et al.*, (2002) y De la Cruz *et al.* (2003) mencionan que en el mejoramiento genético de maíz el nivel deseable para aprovechamiento de la heterosis en una cruce es cuando menos del 20%, esto se logra al emplear germoplasma de mayor divergencia genética para que las cruces proporcionen mayor respuesta de heterosis (Peña *et al.* 1997).

Por otro lado estudios de Frascaroli *et al.*, (2007) demuestran la importante correlación entre los efectos dominantes entre el nivel de heterosis y la estabilidad fenotípica, especialmente para rendimiento del grano.

2.4. Patrones Heteróticos

Existen patrones heteróticos en maíz ampliamente usados, los más comunes han sido Cristalinos X Dentado, Wellhausen (1978), Trópico húmedo X Trópico seco, (Reyes 1985, y Sierra *et al.*, 1990) Trópico X Subtropical. (Vasal *et al.*, 1992, Córdova *et al.*, 2001, y Gómez 1986).

Terrón *et al.*, (1997), sobre la determinación del patrón heterótico de 30 líneas de maíz derivadas de la población 43 SR del CIMMYT y en el que usaron los probadores CML 320 (grupo heterótico "A") y CML321 (grupo heterótico "B") y que dieron origen a 60 combinaciones híbridas línea X probador, encontraron que los valores significativos para la ACE permitieron separar las líneas en grupos heteróticos opuestos de acuerdo con su comportamiento de las cruces de prueba y con base en esta variable, siete líneas integraron el sintético de los

grupos heteróticos “A” y “B” y nueve cruza simples superaron en rendimiento del grano al testigo comercial.

De León *et al.*, (1997), evaluaron tres patrones heteróticos para desarrollar híbridos para regiones intermedias en México, (Trópico X Bajío), Enano X Normal y Precoz X Tardío. Encontraron que la varianza aditiva fue más significativa que la no aditiva en los tres grupos heteróticos estudiados; Así también, el patrón precoz-tardío produjo híbridos con mejores características, sin embargo, manifestaron dificultades de asincronía por lo que concluyeron que el patrón Enano X Normal es la mejor estrategia para desarrollar híbridos de esta región.

Pokall *et al.*, (1991), evaluaron patrones heteróticos entre poblaciones de maíz Tropicales y del Caribe y de la Región de Puerto Rico. La mejor combinación heterótica fue entre poblaciones del Caribe cristalino y dentado.

2.5. Heredabilidad

Reyes (1985) cita que la porción heredable del total de variación fenotípica se llama “Heredabilidad” la cual se puede evaluar considerando el genotipo en donde se consideran los diferentes tipos de acción génica (que incluye aditividad, dominancia, sobre dominancia y epítasis) o considerando únicamente la acción aditiva.

Heredabilidad es el término que se ha usado para indicar el grado en que el fenotipo refleja al genotipo para un carácter particular en una población de plantas; pero lo más importante es la porción de la variación fenotípica observada de planta que es reflejada en la descendencia.

Falconer (1985) define heredabilidad como el cociente de la varianza aditiva sobre la varianza fenotípica y la función más importante de la heredabilidad es su papel predictivo, que expresa la confiabilidad del valor fenotípico como indicador del valor reproductivo que determina su influencia en la siguiente generación. El éxito en cambiar las características de la población puede predecirse solo a partir del conocimiento del grado de correspondencia entre los valores genotípicos y los reproductivos que es medido a través de la heredabilidad.

La heredabilidad se refiere a la capacidad que tienen los caracteres para transmitir de generación en generación, es decir, que esta se pueda considerar como el grado de parecido entre los individuos de una generación a la siguiente (Chávez, 1995).

Córdova y Vasal (1996) mencionan que la heredabilidad para rendimiento aumenta conforme cambia de medios hermanos a hermanos completos y a progenies autofecundadas S1 y S2.

Dudley y Moll (1969) definieron la heredabilidad en sentido amplio como relación entre la varianza genética total y la varianza fenotípica. La varianza fenotípica es la varianza total entre los fenotipos cuando se cultivan en un ambiente de interés y la varianza génica es la parte de varianza fenotípica que se atribuye a los diferentes genotipos entre los fenotipos. La heredabilidad en sentido estrecho, como relación entre la varianza aditiva y la varianza fenotípica.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del Experimento

El presente trabajo se llevó a cabo durante el ciclo agrícola primavera 2011 en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna (UAAAN-UL), ubicada en el predio de San Antonio de los Bravos, en la ciudad de TorreónCoahuila, México. En el corazón de la Comarca Lagunera, sobre el periférico que conduce a Gómez Palacio, Dgo., y carretera a Santa Fe.

3.2. Localización Geográfica de la Comarca Lagunera

La Comarca Lagunera, se localiza en la parte central de la porción norte de México, y forma parte de los estados de Coahuila y Durango. Municipio que se encuentra ubicada geográficamente entre 24° 30' y 27° LN y entre 102° y 105° LO, a 1120 msnm (Palomo *et al.*, 2004).

3.3. Condiciones Ambientales

El clima de la región, corresponde a BW hw" (e'), que se caracteriza por ser muy seco o desértico, semiárido con invierno fresco, temperatura media anual entre 18 y 22 °C; con régimen de lluvias en verano, precipitación media de 250 mm (Cuadro 3.1) y una evaporación potencial del orden de 2,500 mm anuales. Los vientos predominantes circulan en dirección sur con velocidad de 27 a 44 Km/h (Chaires y Palermo, 2004).

Cuadro 3.1. Temperaturas para la Comarca Lagunera en el año 2011.

Mes	MáximaMínimaMedia			UC	Precipitación
	°C				mm
Abril	35.07	15.03	25.84	475.2	0.00
Mayo	35.37	18.02	27.24	534.44	0.60
Junio	36.29	21.53	29.76	592.8	0.00
Julio	34.35	22.05	28.38	569.78	0.80
Agosto	35.94	22.72	29.67	609.77	6.40
Septiembre	33.18	18.34	26.38	491.4	1.20
Octubre	30.92	14.16	22.67	392.77	0.00
Noviembre	26.19	7.88	17.09	212.7	0.20
Totales	33.41*	17.47*	25.88*	3,879*	9.20*

* Promedios, + acumulados. Fuente: Red Nacional de Estaciones Agroclimáticas: Campo Experimental la Laguna 2011.

3.4. Material Genético

3.4.1. Líneas

Se usaron seis líneas como machos (♂) y cuatro como hembras (♀) en el sistema de apareamiento. De los machos, cuatro líneas provienen de la UAAAN-UL del CIMMYT y cuatro líneas del programa de mejoramiento genético de la UAAAN-UL, y dos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, (CIMMYT); las cuatro líneas hembras provienen de la UAAAN-UL, derivadas de la F2 de la crusa (EnanoxCriolloGP) denominada población-60 (Cuadro 3.2). En el ciclo primavera del 2010, se sembraron ambos grupos de líneas para realizar los cruzamientos posibles de acuerdo al diseño genético-II de Carolina del Norte (Comstock y Robinson, 1952). De este sistema de apareamiento se generaron 24 cruzas ó F1, las cuales se evaluaron en el ciclo de primavera del 2011, (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.2. Grupos de líneas utilizadas para el apareamiento genético del diseño-II de Carolina del Norte.

No.	CIMMYT(♂)	No.	UAAAN(♀)
22	AN-83-191	1	AN-A-30-01
23	AN-77-185	2	AN-A-57-02
25	CML-508-43	3	AN-A-18-05
26	CML-509-44	5	AN-A-06-11
27	AN-82-190		
28	AN-78-186		

Cuadro 3.3. Progenitores hembras, machos y cruzas generadas de acuerdo al diseño-II de Carolina del norte.

		Machos					
		22	23	25	26	27	28
H E M B R A S	1	22x1	23x1	25x1	26x1	27x1	28x1
	2	22x2	23x2	25x2	26x2	27x2	28x2
	3	22x3	23x3	25x3	26x3	27x3	28x3
	5	22x5	23x5	25x5	26x5	27x5	28x5

3.5. Diseño Experimental

Los tratamientos se evaluaron en campo en un diseño alfa Látice con 18 bloques y seis tratamientos por bloque y tres repeticiones, para el ciclo primavera.

3.6. Análisis Estadístico

En campo se utilizó el análisis de varianza donde los genotipos se particionó en cruzas, líneas y testigos, de acuerdo al Cuadro 3.4.

Cuadro 3.4. Partición de los grados de libertad para los análisis

F.V	GL	
Repetición(R)	r-1	2
Genotipo(G)	g-1	35
CRUZA(C)	c-1	23
LINEAS (L)	l-1	9
TESTIGOS (T)	t-1	1
C x L x T	(c-1)(l-1)(t-1)	1
ERROR	(r-1) (gen-1)	70
TOTAL	Rgen-1	107

3.6.1. Diseño Genético

El análisis genético fue por el método-II de carolina del norte (Comstock y Robinson, 1952), solo para las variables relacionadas con rendimiento.

$$Y_{ijk} = \mu + m_i + h_j + (mh)_{ij} + b_k + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} : Valor fenotípico del i-ésimo macho, j-ésima hembra, del k-ésimo bloque.

μ : Media poblacional

m_i : Efecto del i-ésimo macho

h_j : Efecto de la j-ésima hembra

$(mh)_{ij}$: Efecto de la interacción del i-ésimo macho con la j-ésima hembra

b_k : Efecto del k-ésimo bloque

ϵ_{ijk} : Error experimental

FV	GL	CM	CM esperado
Híbridos	h_1-1		
Machos (m)	$m-1$	Mm	$\sigma_e^2 + r\sigma_{mh}^2 + r^2\sigma_m^2$
Hembras (h)	$h-1$	Mh	$\sigma_e^2 + r\sigma_{mh}^2 + r^2\sigma_h^2$
M x H	$(m-1)(h-1)$	Mmh	$\sigma_e^2 + r\sigma_{mh}^2$
Error	$(g-1)(b-1)$	Me	σ_e^2

3.7. Manejo Agronómico

3.7.1. Siembra y Tamaño de la Parcela

La evaluación se llevó a cabo en el ciclo primavera en el año 2011. La siembra de la evaluación de las cruzas, se realizó el 08 de abril del 2011. La siembra fue manual y en seco depositando tres semillas por mata. Cada tratamiento se conformó de dos surcos de 3 m de longitud, con separación de 0.75 m entre surcos y 0.19 m entre plantas, para una densidad de población de 24 plantas distribuidas en una superficie de 2.25 m² (3 m x 0.75 m); con 108 parcelas en total y una densidad de población de 53 mil plantas/ha. A los 15 días después de la siembra se realizó un raleo dejando una planta útil por mata.

3.7.2. Preparación del Terreno

Consistió en un barbecho, seguido un rastreo sencillo, con la finalidad de generar en el suelo las condiciones físicas óptimas de flujo de agua y aire, para el buen desarrollo del sistema radicular de las plantas.

3.7.3. Riegos

Se usó un sistema de riego presurizado por cintilla. Se aplicaron 22 riegos en total, los primeros 15 que fueron desde la siembra hasta el inicio de la floración cada 3 días con 7 horas de riego, el resto se aplicó 3 horas cada 4 días.

3.7.4. Fertilización.

La dosis defertilización utilizada fue (180-100-00), el cual se aplicó en dos fracciones: la primera se realizó cuando el cultivo estaba en la etapa de crecimiento con el 50% del nitrógeno y 100% del Fósforo, y la segunda, en la etapa de la floración con el 50% restante del nitrógeno, con el objetivo de favorecer el desarrollo de planta y llenado de grano. Como fuente de nitrógeno se utilizó urea (46%) y como fósforo el fosfato diamónico (18-46-00) disueltos en el agua de riego (fertirrigación).

3.7.5. Control de Maleza

Esta actividad se realizó a lo largo del ciclo del cultivo, inicialmente con el herbicida (Primagram Gold) a una dosis de 4L/ha en pre-emergencia a los 4 días después de la siembra, sucesivamente se efectuó manual y mecánicamente con azadón.

3.7.6. Control de Plagas

Para las plagas de follaje específicamente gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se controló aplicando CE (Clorpirifos etil) en dosis de 1.0 L/ha y al final del ciclo presencia de araña roja (*Tetranychusspp*) controlada con Dimetoato en dosis de 1.0 L/ha.

3.7.7. Cosecha

La cosecha se realizó de forma manual tomando en cuenta las características que determinan la madurez como son: totomoxtle seco, al golpearlo con los nudillos de los dedos los granos están duros, y los granos se desprenden con facilidad del olote.

3.8. Variables Evaluadas

Para la determinación del comportamiento de las cruzas se evaluaron las siguientes variables agronómicas:

3.8.1. Altura de Planta y Mazorca

Esta variable se determinó las 3 semanas posteriores a la floración. Se seleccionaron 3 plantas al azar de cada parcela y, con un estadal graduado, se midió la distancia desde la base de la planta hasta el punto donde comienza a dividirse la espiga (panoja). De las mismas 3 plantas se tomó la altura de mazorca la cual se midió de la base del tallo hasta la inserción de la última mazorca registrando las distancias en centímetros.

3.8.2. Días a Floración Masculina y Femenina

La floración masculina se registró cuando más del 50% de plantas estaban liberando polen, de tal manera que se contaron los días transcurridos de la siembra a la fecha de floración. La floración femenina se registró cuando más del 50% de plantas se encontraban con estigmas de 2 a 3 cm de largo de igual manera se contabilizó los días a partir de la siembra.

3.8.3. Diámetro de Mazorca

Para esta variable se tomaron 3 mazorcas de cada parcela y repetición para medir el diámetro ecuatorial expresado en cm, dicha medición se realizó con un vernier digitalizado.

3.8.4. Numero de Hileras por Mazorca

Del total de mazorcas recolectadas por los dos sucos que componen una parcela se tomaron solo 3 para contar el número de hileras.

3.8.5. Granos por Hilera

Es el total de número de granos que se encuentran contenidos dentro de una hilera en 3 mazorcas por tratamiento.

3.8.6. Longitud de Mazorca

Con una regla graduada se midió la longitud de 3 mazorcas tomadas al azar por cada parcela, midiendo de la base hasta la punta de la mazorca, las medidas son expresadas en cm.

3.8.7. Peso Hectolítrico

Con la báscula hectolítrico previamente programada en unidades Kg/Hl se pesó 1kg de maíz de cada tratamiento, con un contenido promedio de humedad de 12%.

3.8.8. Rendimiento de Grano en Kilogramos/hectáreas (REND)

Los kilogramos por hectárea de grano se consideró el peso total de grano de todas las mazorcas cosechadas por parcela útil, expresada en Kg/ha y uniformizado al 12% de humedad, empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Kg/ha} = (\text{PeCa} \times \text{Kd}) \times (100 - \text{Hc}) / 85 \times (10000 / \text{AU}) \quad (2)$$

Donde;

PeCa = Peso de campo de las mazorcas cosechadas por parcela útil en kg/ha.

Kd = Constante de desgrane para ajustar el rendimiento de grano igual a 0.8.

AU = Área de parcela útil.

HC = Humedad de campo o de cosecha.

85 = humedad deseada al 15 %.

3.9. Estimación de Heterosis

El porcentaje de heterosis se calculó para las variables de rendimiento, de las 24 cruzas simples y 10 líneas. La heterosis se estimó con base en el progenitor medio (h) y con base en el progenitor superior (h'), por localidad y para el análisis combinado, utilizando la siguiente expresión:

$$h = \frac{F1 - PM}{PM} \times 100$$

$$h' = \frac{F1 - PS}{PS} \times 100$$

Dónde:

F1 = rendimiento de la cruza

PM = progenitor medio = $(P_i + P_j)/2$

PS = progenitor superior

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Análisis de Varianza

Los resultados del análisis de varianza se presentan en el cuadro 4.1, donde se observa que no se encontró diferencia significativa para las fuentes de variación (FV) Rep y Blo (rep). En contraste, para Genotipo, se observó diferencia estadística altamente significativa ($P \leq 0.01$) en todas las variables. En lo que respecta al coeficiente de variación (C.V.), para cada una de las variables evaluadas, oscilan de 2.1 a 18.6 %, es decir, están dentro de los rangos aceptables para experimentos agrícolas (Falconer, 1985). Respecto al valor de las medias se observa, que rendimiento (REND) presento una media de 8235.5 Kg/ha la cual se encuentra dentro del rango de producción que se obtuvo en el año 2011 en la Comarca Lagunera (SIAP, 2011).

Cuadro 4.1 Cuadrados medios del análisis de varianza de nueve variables agronómicas y rendimiento en 36 genotipos de maíz.

F.V.	Rep.	Blo (rep)	Genotipo	Error	CV	Media
G.L	2	10	30	60	(%)	
AP	1823.3	193.9	639.4 **	217	6.6	222.9
AM	412.6	126.2	523.7 **	184.7	10.7	126.8
FM	2.2	4	28 **	2.7	2.1	76.3
FF	4.7	14.6	29.6 **	10	3.8	82.1
DM	27.6	3.2	17.2 **	4.3	4.4	47.0
NHM	3.2	3.9	8.6 **	3.7	12.6	15.2
GH	5	10.2	37.9 **	11.6	9.2	37.0
LM	2.6	3.4	4.9 **	2.5	9.6	16.5
PH	3.8	2.8	4.5 **	3.3	2.3	76.7
REND($\times 10^7$)	1.24	0.54	0.59 **	0.24	18.6	8235.5

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad. GL=Grados de Libertad; AP=Altura de Planta; AM=Altura de Mazorca; FM=Floración Masculina; FF=Floración Femenina; DM=Diámetro de Mazorca; NHM=Numero de Hileras por Mazorca; GH= Granos por Hilera; LM=Longitud de Mazorca; PH=Peso Hectolitrico; REND= Rendimiento; CV=Coeficiente de Variación.

4.2. Variables Agronómicas

En el cuadro 4.2 se muestra el promedio de nueve variables agronómicas y rendimiento así mismo el pedigree de 24 cruzas simples, sus progenitores y los testigos comerciales.

4.2.1. Altura de Planta (AP)

Entre los genotipos evaluados, la cruza con mayor Altura de Planta (AP) fue la 22x03 (AN-83-191 x A-18-05) con 248.9 cm, seguido de la cruza 28x05 (AN-78-186 x A-06-11) con 242.8 cm y el de menor altura fue la cruza 27x05 (AN-82-190 x A-06-11) con 190.6 cm, seguido de las cruzas 28x01 (AN-78-186 x A-30-01) y la cruza 25x05 (CML-508-3 x A-06-11) con valores de 205.8 y 214.4 cm respectivamente, se puede observar que la línea A-06-11 está presente tanto en cruzas de mayor como de menor altura de planta, para esta variable se registró una diferencia mínima significativa (DMS) de 24, así mismo con una media de cruzas, progenitores y testigos de 227.8, 210 y 230 respectivamente, es decir estadísticamente no hubo mucha variabilidad.

4.2.2. Altura de Mazorca (AM)

Se observa que la media de cruzas, progenitores y testigos fue de 129.7, 118.2 y 135.9 cm respectivamente. La DMS para esta variable (22.2 cm), indica diferencias estadísticas significativas de entre estos tres grupos. Los Híbridos Comerciales fueron estadísticamente diferentes a las líneas pero igual a las cruzas. Para esta variable la cruza que presentó mayor altura de mazorca fue la 23x05 (AN-77-185 x A-06-11) con un valor de 151.1 cm, estadísticamente parecida a 12 cruzas más, en tanto la de menor altura de mazorca fue la cruza 28x01 (AN-78-186 x A-30-01) con 94.9 cm, seguido de la cruza 27x05 (AN-82-190 x A 06-11) con un valor de 105 cm.

4.2.3. Floración masculina (FM) y Floración Femenina (FF)

Los días a floración masculina y femenina son importantes para conocer la precocidad de los materiales evaluados. El rango para esta variable oscila de 71 a 81 días transcurridos a partir de la siembra; donde la más precoz es la cruza 25x03 (CML-508-3 x A-18-05) con 71 días, seguido de las cruzas 25x05 (CML-508-3 x A-06-11), 26x03 (CML-509-44 x A-18-05), 26x05 (CML-509-44 x A-06-11), 27x05 (AN-82-190 x A-06-11) y 28x03 (AN-78-186 x A-18-05), con 73 días. Asimismo, la más tardía fue la cruza 25x02 (CML-508-3 x A-57-02) con 81 días, estadísticamente igual a cinco cruzas más. Para esta variable la DMS es de 2.7 días y los valores medios de cruzas, progenitores y testigos con 76, 77 y 78 respectivamente, lo cual significa que fueron iguales. Por otra parte se observó que el intervalo del periodo de Floración femenina fue de 74 a 86 días a partir de la siembra, donde la cruza más precoz fue la 25x1 (CML-508-3 x A-30-01) con 74 días, asimismo, la más tardía fue la cruza 25x02 (CML-508-3 x A-57-02) con 86 días, estadísticamente igual a 13 cruzas más. Para esta variable la DMS fue de 5.2 días, por lo que progenitores, cruzas y testigos fueron estadísticamente iguales, pues registran 81, 84 y 82 días respectivamente.

En la producción de grano es fundamental la coincidencia entre la floración de los progenitores, es decir de los estigmas de la hembra, con la emisión del polen del macho, con la finalidad de lograr la completa sincronización, para favorecer la fecundación y logro de la semilla como objetivo fundamental (CIMMYT).

4.2.4. Diámetro de Mazorca (DM)

Se observó que en DM, la media de las cruzas, progenitores y testigos fue de 47.65, 45.6 y 46.8 respectivamente, así mismo presentando una DMS de 3.4. Para esta variable se observa un rango que oscila de 43.2 a 52.6 cm,

siendo la cruza 28x02 (AN-78-186 x A-57-02) que presenta mayor diámetro con 52.6 cm, estadísticamente igual a 6 cruzas más, en tanto las cruzas con menor diámetro de mazorca fueron la 23x05 (AN-77-185 x A-06-11) y 26x05 (CML-509-44 x A-06-11) con 43.2 y 43.6 cm respectivamente, estadísticamente igual a 5 cruzas más.

Los factores que afectan al diámetro de mazorca son: constitución genética del genotipo, capacidad de adaptación a diferentes densidades de población, deficiencia de nutrición vegetal, longitud del grano y números de hilera (Jungenheimer W. R., 1981).

4.2.5. Numero de Hileras por Mazorca (NHM)

En cuanto al Número de Hileras por Mazorca (NHM), se observa que la variación entre genotipos oscila de 13 a 20.6, donde el valor más alto lo registró la cruza 27x01 (AN-82-190 x A-30-01) con 20.6 Hileras por Mazorca, seguido de las cruzas 22x05 (AN-83-191 x A-06-11), 22x03 (AN-83-191 x A-18-05) y 28x01 (AN-78-186 x A-30-01) con valores de 19.4, 17.6 y 17.5 hileras respectivamente. Mientras que la cruza que presento el valor más bajo fue la 26x05 (CML-509-44 x A-06-11) con 13 Hileras por Mazorca, estadísticamente igual a 17 cruzas más. Para esta variable se tiene una DMS de 3.2, y una media de cruzas, progenitores y testigos de 15.45, 14.56 y 16.3 respectivamente.

4.2.6. Granos por Hilera (GH)

El número y tamaño de los granos contribuyen al rendimiento. El número de granos por hilera está determinado por la longitud de la mazorca, el número de hileras por mazorca, el número de mazorca por planta y el número de plantas por unidad de área (Jungenheimer, 1988).

Con respecto al número de Granos por Hilera (GH) se encontró que las cruzas evaluadas presentan un DMS de 5.6, en este aspecto la cruza que mejor respondió fue la 23x03 (AN-77-185 x A-18-05) con 42.9 Granos por Hilera estadísticamente igual a 13 cruzas más, mientras que la cruza con menor respuesta fue 22x01(AN-82-191 x A-30-01) con 32.9 Granos por Hilera, estadísticamente igual a 9 cruzas más. La media de cruzas, progenitores y testigos fue de 37.73, 35.44 y 37.1 respectivamente.

4.2.7. Longitud de Mazorca (LM)

En cuanto a la variable de Longitud de Mazorca (LM) la cruza de mayor respuesta al igual que (GH) fue 23x03 (AN-77-185 x A-18-05) con 19.1 cm, y el de menor respuesta fue la cruza 28x05 (AN-78-186 x A-06-11) con 14.7 cm, para esta variable se tiene una DMS de 2.6, y una media de 15.9 cm tanto para progenitores como para testigos, y 16.38 para cruzas, es decir estadísticamente son iguales.

4.2.8. Peso Hectolitrico (PH)

Con respecto a PH la cruza con mayor resultado fue 26x05 (CML-509-44 x A-06-11) con un valor de 80.7 kg/hl, así mismo el de menor resultado fue la cruza 26x03 (CML-509-44 x A-18-05) con un valor de 74.9 kg/hl. El DMS para esta variable fue de 2.9, y una media de cruzas, progenitores y testigos de 76.86, 76.81, 74.55 respectivamente, lo cual indica que no hay variabilidad.

4.2.9. Rendimiento (REND)

Finalmente rendimiento es de mayor importancia, porque representa el producto final del proceso. Se observa que la cruza con mayor rendimiento fue la 22x05 (AN-83-191xA-06-11) con 11,434 kg/ha, siendo estadísticamente igual

a 11 cruzas más. En contraste con menor rendimiento fue la 28x01 (AN-78-186 x A-30-01) con 6,125 kg/ha y estadísticamente se observa que es igual a 5 cruzas más. La DMS de 2513.6, que considerando la media de cruzas, progenitores y testigos de 9081.8, 6136.3 y 8576 respectivamente, indica que cruzas e híbridos superan estadísticamente a los progenitores.

El alto rendimiento de una crusa puede ser debido a la suma de los efectos aditivos, dominantes y/o a epistasis, de los genes de las líneas progenitoras (Falconer 1985).

Cuadro 4.2. Promedio de nueve variables agronómicas y rendimiento así mismo el pedigrí de 24 cruzas simples sus progenitores y la media de los testigos comerciales.

Gen	Pedigree	Cruza	AP	AM	FM	FF	DM	NHM	GH	LM	PH	REND
			cm	cm	dds	dds	Cm			cm	Kg/ha	Kg/ha
1	AN-82-191 x A-30-01	22x01	225	127.6	77	81	46.9	16.7	32.9	16	77.8	8954
2	AN-83-191 x A-57-02	22x02	232.2	138.1	80	82	46.8	15.8	34.9	16.8	78.5	10595
3	AN-83-191 x A-18-05	22x03	248.9	143.8	75	80	50.4	17.6	36	16.5	75.9	10511
4	AN-83-191 x A-06-11	22x05	232.2	134.2	77	80	47.3	19.4	33.6	17.8	77.7	11434
5	AN-77-185 x A-30-01	23x01	230	121.1	78	81	47.9	14.8	38.7	16.4	76.7	7635
6	AN-77-185 x A-57-02	23x02	238.3	134.4	80	84	44.1	14.3	39.4	18	78	10700
7	AN-77-185 x A-18-05	23x03	239.5	145.6	74	82	48.5	15.2	42.9	19.1	77	9184
8	AN-77-185 x A-06-11	23x05	238.9	151.1	79	84	43.2	14.5	38.8	17.1	77.4	8754
9	CML-508-3 x A-30-01	25x01	232.8	128.3	79	74	46.1	14	33	16.2	77.9	9002
10	CML-508-3 x A-57-02	25x02	239.4	148	81	86	47.2	15.2	36.4	16.4	75.1	10560
11	CML-508-3 x A-18-05	25x03	222.2	135.6	71	79	47.1	14.1	38.3	18.2	75.6	8120
12	CML-508-3 x A-06-11	25x05	214.4	117.5	73	78	46.5	14.3	37	17	76.3	9035
13	CML-509-44 x A-30-01	26x01	215	117.8	74	82	49.4	16.8	38.4	16.6	77.9	9403
14	CML-509-44 x A-57-02	26x02	219.7	124.8	75	81	46.4	14.1	40.7	15.7	76.8	8464
15	CML-509-44 x A-18-05	26x03	238.7	133.4	73	80	47.3	14.4	36	17.7	74.9	10744
16	CML-509-44 x A-06-11	26x05	225.9	122	73	80	43.6	13	40	16.6	80.7	8872
17	AN-82-190 x A-30-01	27x01	220.4	120.3	77	83	47.4	20.6	38.5	17.1	75.8	7756
18	AN-82-190 x A-57-02	27x02	227.8	132.8	74	82	49.6	14.5	40.4	16.1	77.3	8678
19	AN-82-190 x A-18-05	27x03	225	135.6	74	80	50.8	14.3	39.8	15.8	77	8893
20	AN-82-190 x A-06-11	27x05	190.6	105	73	79	45.4	14.5	37.6	16.8	75.7	6666
21	AN-78-186 x A-30-01	28x01	205.8	94.9	76	83	49.4	17.5	38.6	16.3	75.3	6125
22	AN-78-186 x A-57-02	28x02	221.7	124.4	76	85	52.6	15.2	38.8	16.9	77.6	10840
23	AN-78-186 x A-18-05	28x03	238.9	137.8	73	83	48.8	14.3	40.3	18	75.9	8693
24	AN-78-186 x A-06-11	28x05	242.8	139.2	79	83	50.8	15.6	34.5	14.7	75.8	8345
	Media		227.8	129.72	76	81	47.65	15.45	37.73	16.83	76.86	9081.8
25	AN-83-191 (22)	22	162.5	93.9	81	89	39.3	16.8	21	11.4	78.9	4108
26	AN-77-185 (23)	23	213.1	113	81	87	42.5	14.1	40	14.9	76.6	4834
27	CML-508-43 (25)	25	214.7	130.6	73	80	44.3	13.5	35.8	15.5	77.8	8035
28	CML-509-44 (26)	26	188.9	97.6	71	76	43.1	13.8	36	16.6	76.2	5970
29	AN-82-190 (27)	27	216.7	123.4	77	84	45.7	13.9	32.8	16.7	78	4326
30	AN-78-186 (28)	28	208.9	115.1	72	79	48.6	14.5	39.7	17.4	79.7	8702
31	A-30-01 (1)	1	225	115.6	83	89	48.4	17.1	37	18.5	75.8	6361
32	A-57-02 (2)	2	226.1	132.2	81	88	48.4	14.7	37	15.4	75.8	6771
33	A-18-05 (3)	3	241.7	150.2	76	85	51.6	13	39.5	15.4	75.2	5700
34	A-06-11 (5)	5	202.8	110.6	76	83	44.5	14.2	35.6	17.2	74.1	6556
	Media Líneas		210	118.22	77	84	45.6	14.56	35.44	15.9	76.81	6136.3
	Testigos (Media)		230	135.85	78	82	46.8	16.3	37.1	15.9	74.55	8576
	DMS		24	22.2	2.7	5.2	3.4	3.2	5.6	2.6	2.9	2513.6

4.3. Heterosis

Es un concepto que se utiliza para referirse al vigor que presenta la F1 respecto a sus padres. El mejoramiento genético de maíz por hibridación fue iniciado por Shull en 1909, con la obtención de líneas endogámicas poco productivas, y la formación de híbridos de cruce simple de mayor rendimiento que la variedad original. Se reconocen dos formas de expresión de la heterosis que son: respecto a la media de los progenitores (h) y respecto al mejor progenitor (h').

4.3.1. Altura de Planta (AP)

En el cuadro 4.3.1 se observa que las cruzas que presentan el mayor efecto de heterosis promedio (H) para Altura de Planta son: 22x2, 22x3 y 22x5 con valores de 20, 23 y 27% respectivamente, en tanto que las cruzas más sobresalientes para heterosis con respecto al mejor progenitor (H') son la 28x5 y 22x5 con 16 y 14 % respectivamente. Se observa que la cruce 22x5 se manifiesta en ambos casos.

4.3.2. Altura de Mazorca (AM)

En esta variable para heterosis promedio (H) se observa que las cruzas con mayor efecto tienen valores que oscilan de 22 a 35 %, donde las tres cruzas más sobresalientes son la 23x5, 22x5 y 28x5 con 35, 31 y 23 %, así mismo para heterosis respecto al mejor progenitor (H') los porcentajes más altos se presentaron en las mismas cruzas con valores de 34 y 21 % respectivamente (Cuadro 4.3.1).

Cuadro 4.3.1. Heterosis promedio (H) y respecto al mejor progenitor (H') para la variable Altura de Planta (AP) y Altura de Mazorca (AM).

CRUZA	Altura de Planta (AP)						Altura de Mazorca (AM)					
	P1	P2	PM	F1	H	H'	P1	P2	PM	F1	H	H'
22X1	163	225	194	225	16	0	94	116	105	128	22	10
22X2	163	226	194	232	20	3	94	132	113	138	22	4
22X3	163	242	202	249	23	3	94	150	122	144	18	-4
22X5	163	203	183	232	27	14	94	111	102	134	31	21
23X1	213	225	219	230	5	2	113	116	114	121	6	5
23X2	213	226	220	238	9	5	113	132	123	134	10	2
23X3	213	242	227	240	5	-1	113	150	132	146	11	-3
23X5	213	203	208	239	15	12	113	111	112	151	35	34
25X1	215	225	220	233	6	3	131	116	123	128	4	-2
25X2	215	226	220	239	9	6	131	132	131	148	13	12
25X3	215	242	228	222	-3	-8	131	150	140	136	-3	-10
25X5	215	203	209	214	3	0	131	111	121	118	-3	-10
26X1	189	225	207	215	4	-4	98	116	107	118	11	2
26X2	189	226	208	220	6	-3	98	132	115	125	9	-6
26X3	189	242	215	239	11	-1	98	150	124	133	8	-11
26X5	189	203	196	226	15	11	98	111	104	122	17	10
27X1	217	225	221	220	0	-2	123	116	120	120	1	-3
27X2	217	226	221	228	3	1	123	132	128	133	4	0
27X3	217	242	229	225	-2	-7	123	150	137	136	-1	-10
27X5	217	203	210	191	-9	-12	123	111	117	105	-10	-15
28X1	209	225	217	206	-5	-9	115	116	115	95	-18	-18
28X2	209	226	218	222	2	-2	115	132	124	124	1	-6
28X3	209	242	225	239	6	-1	115	150	133	138	4	-8
28X5	209	203	206	243	18	16	115	111	113	139	23	21

4.3.3. Floración Masculina (FM) y Floración Femenina (FF)

Para las variables Floración Masculina y Femenina que se presenta en el cuadro 4.3.2, se observan valores negativos para la mayoría de las cruzas evaluadas tanto para heterosis promedio (H) como con respecto al mejor progenitor (H'), es decir ninguna es superior a los progenitores. Lo anterior se explica pues a medida que se autofecunda una línea esta tiende a ser más tardía. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Crossa *et al.*, (1990) quienes indicaron que la heterosis negativa para días a floración es un indicio

de que la actividad metabólica y el crecimiento de los híbridos son más rápido que sus progenitores.

Cuadro 4.3.2. Heterosis media (H) y respecto al mejor progenitor (H') para la variable Floración Masculina (FM) y Floración Femenina (FF).

CRUZA	Floración Masculina (FM)						Floración Femenina (FF)					
	P1	P2	PM	F1	H	H'	P1	P2	PM	F1	H	H'
22X1	81	83	82	77	-6	-7	89	89	89	81	-9	-9
22X2	81	81	81	80	-2	-2	89	88	88	82	-7	-7
22X3	81	76	79	75	-4	-7	89	85	87	80	-8	-10
22X5	81	76	79	77	-2	-5	89	83	86	80	-7	-10
23X1	81	83	82	78	-5	-6	87	89	88	81	-7	-9
23X2	81	81	81	80	-1	-2	87	88	87	84	-3	-4
23X3	81	76	79	74	-6	-9	87	85	86	82	-4	-5
23X5	81	76	79	79	1	-2	87	83	85	84	-1	-3
25X1	73	83	78	79	1	-4	80	89	85	74	-13	-17
25X2	73	81	77	81	5	0	80	88	84	86	3	-2
25X3	73	76	75	71	-4	-6	80	85	83	79	-4	-7
25X5	73	76	75	73	-2	-4	80	83	82	78	-5	-6
26X1	71	83	77	74	-4	-11	76	89	83	82	-1	-8
26X2	71	81	76	75	-1	-7	76	88	82	81	-1	-7
26X3	71	76	74	73	-1	-4	76	85	80	80	0	-6
26X5	71	76	74	73	-1	-4	76	83	80	80	1	-4
27X1	77	83	80	77	-3	-7	84	89	86	83	-4	-7
27X2	77	81	79	74	-7	-9	84	88	86	82	-4	-6
27X3	77	76	76	74	-3	-4	84	85	84	80	-5	-5
27X5	77	76	76	73	-4	-5	84	83	84	79	-5	-6
28X1	72	83	77	76	-2	-8	79	89	84	83	-1	-7
28X2	72	81	77	76	0	-6	79	88	83	85	2	-3
28X3	72	76	74	73	-1	-4	79	85	82	83	1	-2
28X5	72	76	74	79	7	4	79	83	81	83	2	-1

4.3.4. Diámetro de Mazorca (DM)

Para esta variable en el cuadro 4.3.3 se presentan los mayores efectos de heterosis tanto promedio como con respecto al mejor progenitor se observó en la cruce 22x5 con valores de 12.9 y 6.3 % respectivamente, siendo inferiores las 23 cruces más que se evaluaron con valores negativos.

4.3.5. Numero de Hileras por Mazorca (NHM)

En el cuadro 4.3.3 se observa que las cruzas 27x1, 22x5 presenta los mayores valores tanto para heterosis promedio (H) como con respecto al mejor progenitor (H') con porcentajes de 32.9 y 25.2% para heterosis promedio en tanto que para heterosis respecto al mejor progenitor es de 20.5 y 15.5 %. Sobresal la cruz 22x5 también en las variables Altura de Planta y Mazorca.

Cuadro 4.3.3. Heterosis media (H) y respecto al mejor progenitor (H') para la variable Diámetro de Mazorca (DM) y Número de Hileras por Mazorca (NHM).

CRUZA	Diámetro de Mazorca (DM)						Numero de Hileras por Mazorca (NHM)					
	P1	P2	PM	F1	H	H'	P1	P2	PM	F1	H	H'
22X1	39.3	48.4	43.9	46.9	7.0	-3.1	16.8	17.1	17.0	16.7	-1.5	-2.3
22X2	39.3	48.4	43.9	46.8	6.7	-3.3	16.8	14.7	15.8	15.8	0.3	-6.0
22X3	39.3	51.6	45.5	50.4	10.9	-2.3	16.8	13.0	14.9	17.6	18.1	4.8
22X5	39.3	44.5	41.9	47.3	12.9	6.3	16.8	14.2	15.5	19.4	25.2	15.5
23X1	42.5	48.4	45.5	47.9	5.4	-1.0	14.1	17.1	15.6	14.8	-5.1	-13.5
23X2	42.5	48.4	45.5	44.1	-3.0	-8.9	14.1	14.7	14.4	14.3	-0.7	-2.7
23X3	42.5	51.6	47.1	48.5	3.1	-6.0	14.1	13.0	13.6	15.2	12.2	7.8
23X5	42.5	44.5	43.5	43.2	-0.7	-2.9	14.1	14.2	14.2	14.5	2.5	2.1
25X1	44.3	48.4	46.4	46.1	-0.5	-4.8	13.5	17.1	15.3	14.0	-8.5	-18.1
25X2	44.3	48.4	46.4	47.2	1.8	-2.5	13.5	14.7	14.1	15.2	7.8	3.4
25X3	44.3	51.6	48.0	47.1	-1.8	-8.7	13.5	13.0	13.3	14.1	6.4	4.4
25X5	44.3	44.5	44.4	46.5	4.7	4.5	13.5	14.2	13.9	14.3	3.2	0.7
26X1	43.1	48.4	45.8	49.4	8.0	2.1	13.8	17.1	15.5	16.8	8.7	-1.8
26X2	43.1	48.4	45.8	46.4	1.4	-4.1	13.8	14.7	14.3	14.1	-1.1	-4.1
26X3	43.1	51.6	47.4	47.3	-0.1	-8.3	13.8	13.0	13.4	14.4	7.5	4.3
26X5	43.1	44.5	43.8	43.6	-0.5	-2.0	13.8	14.2	14.0	13.0	-7.1	-8.5
27X1	45.7	48.4	47.1	47.4	0.7	-2.1	13.9	17.1	15.5	20.6	32.9	20.5
27X2	45.7	48.4	47.1	49.6	5.4	2.5	13.9	14.7	14.3	14.5	1.4	-1.4
27X3	45.7	51.6	48.7	50.8	4.4	-1.6	13.9	13.0	13.5	14.3	6.3	2.9
27X5	45.7	44.5	45.1	45.4	0.7	-0.7	13.9	14.2	14.1	14.5	3.2	2.1
28X1	48.6	48.4	48.5	49.4	1.9	1.6	14.5	17.1	15.8	17.5	10.8	2.3
28X2	48.6	48.4	48.5	52.6	8.5	8.2	14.5	14.7	14.6	15.2	4.1	3.4
28X3	48.6	51.6	50.1	48.8	-2.6	-5.4	14.5	13.0	13.8	14.3	4.0	-1.4
28X5	48.6	44.5	46.6	50.8	9.1	4.5	14.5	14.2	14.4	15.6	8.7	7.6

4.3.6. Granos por Hilera (GH)

Para la variable GH los valores más altos para heterosis promedio (H) se presentan en las cruzas 22x2, 22x3 y 22x5 con valores de 20.0, 19.0 y 18.7 % respectivamente, en tanto que para heterosis respecto al mejor progenitor (H') las cruzas 26x5 y 26x2 presentan los valores más altos con 11.1 y 10.0 % respectivamente (Cuadro 4.3.4.).

4.3.7. Longitud de Mazorca (LM)

En el cuadro 4.3.4 para esta variable se presentan los valores más altos en cuatro de las 24 cruzas evaluadas para heterosis promedio (H) que son la 23x3, 22x2, 22x5 y 22x3, con valores de 26.1, 25.4, 24.5 y 23.1% respectivamente, así mismo para heterosis con respecto al mejor progenitor (H') la craza más sobresaliente con el valor más alto es al igual que en heterosis promedio es la 23x3 con 24.0 %.

Cuadro 4.3.4. Heterosis media (H) y respecto al mejor progenitor (H') para la variable Grano por Hilera (GH) y Longitud de Mazorca (LM).

CRUZA	Grano por Hilera (GH)						Longitud de Mazorca (LM)					
	P1	P2	PM	F1	H	H'	P1	P2	PM	F1	H	H'
22X1	21.0	37.0	29.0	32.9	13.4	-11.1	11.4	18.5	15.0	16.0	7.0	-13.5
22X2	21.0	37.0	29.0	34.9	20.3	-5.7	11.4	15.4	13.4	16.8	25.4	9.1
22X3	21.0	39.5	30.3	36.0	19.0	-8.9	11.4	15.4	13.4	16.5	23.1	7.1
22X5	21.0	35.6	28.3	33.6	18.7	-5.6	11.4	17.2	14.3	17.8	24.5	3.5
23X1	40.0	37.0	38.5	38.7	0.5	-3.2	14.9	18.5	16.7	16.4	-1.8	-11.4
23X2	40.0	37.0	38.5	39.4	2.3	-1.5	14.9	15.4	15.2	18.0	18.8	16.9
23X3	40.0	39.5	39.8	42.9	7.9	7.3	14.9	15.4	15.2	19.1	26.1	24.0
23X5	40.0	35.6	37.8	38.8	2.6	-3.0	14.9	17.2	16.1	17.1	6.5	-0.6
25X1	35.8	37.0	36.4	33.0	-9.3	-10.8	15.5	18.5	17.0	16.2	-4.7	-12.4
25X2	35.8	37.0	36.4	36.4	0.0	-1.6	15.5	15.4	15.5	16.4	6.1	5.8
25X3	35.8	39.5	37.7	38.3	1.7	-3.0	15.5	15.4	15.5	18.2	17.8	17.4
25X5	35.8	35.6	35.7	37.0	3.6	3.4	15.5	17.2	16.4	17.0	4.0	-1.2
26X1	36.0	37.0	36.5	38.4	5.2	3.8	16.6	18.5	17.6	16.6	-5.4	-10.3
26X2	36.0	37.0	36.5	40.7	11.5	10.0	16.6	15.4	16.0	15.7	-1.9	-5.4
26X3	36.0	39.5	37.8	36.0	-4.6	-8.9	16.6	15.4	16.0	17.7	10.6	6.6
26X5	36.0	35.6	35.8	40.0	11.7	11.1	16.6	17.2	16.9	16.6	-1.8	-3.5
27X1	32.8	37.0	34.9	38.5	10.3	4.1	16.7	18.5	17.6	17.1	-2.8	-7.6
27X2	32.8	37.0	34.9	40.4	15.8	9.2	16.7	15.4	16.1	16.1	0.3	-3.6
27X3	32.8	39.5	36.2	39.8	10.1	0.8	16.7	15.4	16.1	15.8	-1.6	-5.4
27X5	32.8	35.6	34.2	37.6	9.9	5.6	16.7	17.2	17.0	16.8	-0.9	-2.3
28X1	39.7	37.0	38.4	38.6	0.7	-2.8	17.4	18.5	18.0	16.3	-9.2	-11.9
28X2	39.7	37.0	38.4	38.8	1.2	-2.3	17.4	15.4	16.4	16.9	3.0	-2.9
28X3	39.7	39.5	39.6	40.3	1.8	1.5	17.4	15.4	16.4	18.0	9.8	3.4
28X5	39.7	35.6	37.7	34.5	-8.4	-13.1	17.4	17.2	17.3	14.7	-15.0	-15.5

4.3.8. Peso Hectolitrico (PH)

Para peso hectolitrico en el cuadro 4.3.5 se observa que todas las cruza evaluadas presentan valores muy bajos para ambas heterosis, sin embargo la mejor cruza tanto para heterosis promedio (H) como respecto al mejor progenitor (H') es la cruza 26x5 con valores de 7.4 y 5.9 % respectivamente.

4.3.9. Rendimiento (REND)

Los mayores valores de heterosis promedio (H) que se presentan en el cuadro 4.3.5 oscilan de 20.7 a 114.4 %, en el cual las tres cruzas más sobresalientes al igual que para la variable Altura de Planta fueron la 22x5, 22x3 y 22x2 con valores de 114.4, 114.3 y 94.8 % respectivamente, mientras que para la heterosis con respecto al mejor progenitor (H') oscilan de 20.0 a 84.4 %, donde con la excepción de la 26x03, se repiten las mismas cruzas que para heterosis promedio, con valores de 84.4, 74.4 y 80.0 % respectivamente.

Cuadro 4.3.5. Heterosis media (H) y respecto al mejor progenitor (H') para la variable Peso Hectolitrico (PH) y Rendimiento (REND).

CRUZA	Peso Hectolitrico (PH)						Rendimiento (REND)					
	P1	P2	PM	F1	H	H'	P1	P2	PM	F1	H	H'
22X1	78.9	75.8	77.4	77.8	0.6	-1.4	4108.0	6361.0	5234.5	8954.0	71.1	40.8
22X2	78.9	75.8	77.4	78.5	1.5	-0.5	4108.0	6771.0	5439.5	10595.0	94.8	56.5
22X3	78.9	75.2	77.1	75.9	-1.5	-3.8	4108.0	5700.0	4904.0	10511.0	114.3	84.4
22X5	78.9	74.1	76.5	77.7	1.6	-1.5	4108.0	6556.0	5332.0	11434.0	114.4	74.4
23X1	76.6	75.8	76.2	76.7	0.7	0.1	4834.0	6361.0	5597.5	7635.0	36.4	20.0
23X2	76.6	75.8	76.2	78.0	2.4	1.8	4834.0	6771.0	5802.5	10700.0	84.4	58.0
23X3	76.6	75.2	75.9	77.0	1.4	0.5	4834.0	5700.0	5267.0	9184.0	74.4	61.1
23X5	76.6	74.1	75.4	77.4	2.7	1.0	4834.0	6556.0	5695.0	8754.0	53.7	33.5
25X1	77.8	75.8	76.8	77.9	1.4	0.1	8035.0	6361.0	7198.0	9002.0	25.1	12.0
25X2	77.8	75.8	76.8	75.1	-2.2	-3.5	8035.0	6771.0	7403.0	10560.0	42.6	31.4
25X3	77.8	75.2	76.5	75.6	-1.2	-2.8	8035.0	5700.0	6867.5	8120.0	18.2	1.1
25X5	77.8	74.1	76.0	76.3	0.5	-1.9	8035.0	6556.0	7295.5	9035.0	23.8	12.4
26X1	76.2	75.8	76.0	77.9	2.5	2.2	5970.0	6361.0	6165.5	9403.0	52.5	47.8
26X2	76.2	75.8	76.0	76.8	1.1	0.8	5970.0	6771.0	6370.5	8464.0	32.9	25.0
26X3	76.2	75.2	75.7	74.9	-1.1	-1.7	5970.0	5700.0	5835.0	10744.0	84.1	80.0
26X5	76.2	74.1	75.2	80.7	7.4	5.9	5970.0	6556.0	6263.0	8872.0	41.7	35.3
27X1	78.0	75.8	76.9	75.8	-1.4	-2.8	4326.0	6361.0	5343.5	7756.0	45.1	21.9
27X2	78.0	75.8	76.9	77.3	0.5	-0.9	4326.0	6771.0	5548.5	8678.0	56.4	28.2
27X3	78.0	75.2	76.6	77.0	0.5	-1.3	4326.0	5700.0	5013.0	8893.0	77.4	56.0
27X5	78.0	74.1	76.1	75.7	-0.5	-2.9	4326.0	6556.0	5441.0	6666.0	22.5	1.7
28X1	79.7	75.8	77.8	75.3	-3.2	-5.5	8702.0	6361.0	7531.5	6125.0	-18.7	-29.6
28X2	79.7	75.8	77.8	77.6	-0.2	-2.6	8702.0	6771.0	7736.5	10840.0	40.1	24.6
28X3	79.7	75.2	77.5	75.9	-2.0	-4.8	8702.0	5700.0	7201.0	8693.0	20.7	-0.1
28X5	79.7	74.1	76.9	75.8	-1.4	-4.9	8702.0	6556.0	7629.0	8345.0	9.4	-4.1

Los porcentajes máximos y mínimos de heterosis para el progenitor medio y el progenitor superior variaron en un amplio intervalo, coincidiendo con Molina y Lovato (1998) que señalan que en la mayoría de los casos las cruzas con mayor rendimiento son también las de mayor heterosis.

De acuerdo con Vasal y Córdova (1996) quienes mencionan que el consenso general entre los fitomejoradores, sobre el nivel deseable de heterosis es de un 20% por lo que en este trabajo se puede observar que en la mayoría de las variables las cruzas que superan a los progenitores son de porcentajes aceptables, excepto las variables de días a floración masculina y femenina, diámetro de mazorca y peso hectolitrico que están por debajo del rango aceptable.

Los resultados de este trabajo, indican que existe diversidad génica entre el grupo de progenitores incluidos en este estudio. Al respecto Moll *et al.* (1962) señalan que la diversidad génica de los progenitores paternos está asociada con un mayor heterosis.

V. CONCLUSIONES

Progenitores y cruzas fueron diferentes en características agronómicas y rendimiento de grano.

Las cruzas en promedio, fueron de mayor altura que los progenitores.

Los progenitores fueron más tardíos que las cruzas.

Las cruzas expresaron mayor dimensión en las características de mazorca que los progenitores.

En rendimiento las cruzas fueron superiores a los progenitores.

En el estudio se encontraron valores superiores al 20% de heterosis.

Las cruzas con mayor heterosis promedio y respecto al mejor progenitor para altura de planta y mazorca fueron 22x5, 22x2, y 23x5.

Para floración masculina y femenina todas las cruzas presentan valores muy bajos de heterosis promedio (h) y respecto al mejor progenitor (h').

Las cruzas con mayor heterosis promedio para las características de mazorca fueron 22x2, 22x5 y 27x1, y con respecto al mejor progenitor fueron 23x3 y 27x1.

En rendimiento se observaron los valores más altos de heterosis con porcentajes que oscilan de 80 a 114.4, para lo cual las cruzas que presentaron mayor heterosis promedio y respecto al mejor progenitor fueron: 22x2, 22x3, 22x5 y 26x3.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Allard R W (1960) Principles of Plant Breeding. John Wiley and Sons, Inc. New York. London 485 p.
- Bruce A.B. (1910). The Mendelian Theory of Heredity and the Augmentation of Vigor. *Science*32: 627–628.
- Charlesworth D., Willis J.H. (2009). The Genetics of Inbreeding Depression. *Nat. Rev. Genetic*.10: 783–796.
- Chávez A. J. L. y López E. 1995. Mejoramiento de Plantas I. Segunda Edición. Editorial TRILLAS. México. 136 p.
- Chen Z.J. (2010). Molecular Mechanisms of Polyploidy and Hybrid Vigor. *Trends Plant Sci*.15: 57–71.
- CórdovaH. S y S. K. Vasal (1996). Estrategias en el Desarrollo y Mejoramiento de Germoplasmas del maíz orientado a la Agricultura Sustentable.
- Córdova, O. H., Vergara, N., De León, C., y Cross J. L. 2001. Progreso en Selección y Heterosis en Poblaciones Tropicales de Maíz (*Zea mays L.*).I Patrón Heterótico TUXPEÑO X ETO BLANCO. En: Resúmenes de la XLVII Reunión Anual del PCCMCA del 2 al 5 de Abril año 2001 San José Costa Rica, C. A. p. 59.
- Crees, C. E. 1956. Heterosis of the Hibrid to Gene Frecuency Differences Between two Populations. *Genetics* 53:269-274.
- Darwin C.R. (1876). The Effects of Cross and Self Fertilization in the Vegetable Kingdom. (London: John Murray;).
- De la Cruz, L.E., E. Gutiérrez del R., A. Palomo G. y S. RodríguezH. (2003). Aptitud Combinatoria y Heterosis de líneas de Maíz enla Comarca Lagunera. *Revista Fitotecnica Mexicana* 26: 279-284.

- De Leon, C. H., Ramirez E. R., Martinez, G. A., Oyervides, G. Z. 1997. Evaluation of Heterotic patterns to develop maize hybrids for midaltitude regions of Mexico. In: Book of Abstract "The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops" An International Symposium, Mexico. P. 92-93.
- Dudley JW, RH Moll, (1969). Interpretation and use of Estimates of Heritability and Genetic Variances in plant Breeding. *Crop Science* 257-262 p.
- East E.M. (1936). Heterosis. *Genetics* 21: 375–397.
- Falconer DS. (1985) *Introducción a la Genética Cuantitativa*. CECSA. Mexico. 135p.
- Foostat. 2005. Estadísticas de FAO. Disponible en línea. <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/documents/PECUARIO.pdf>
- Fu H., Dooner H.K. (2002). Intraspecific Violation of Genetic Colinearity and its Implications in Maize. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99: 9573–9578.
- Gómez N. M., Valdivia B. R. y Mejía H. A. 1988. Dialélico Integrado con Líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. *Fitotecnia Mexicana* 11: 103-120.
- Heyes, H. K. 1952. Development of the Heterosis Concept. Edit. John W. Low. Sta. Coll Press pp. 49-60.
- Jones D.F. (1917). Dominance of Linked Factors as a Means of Accounting for Heterosis. *Genetics* 2: 466–479.
- Jugenheimer, W. R. 1981. Maíz. ELSA. Cuarta reimpresión. México. Pág. 87, 137, 138 y 139.
- Jugenheimer, W. R. 1990. Maíz. ELSA. Cuarta reimpresión. México. P 841.

- Karpechenko G.D. (1927). Polyploid Hybrids of *Raphanus sativus*L. × *Brassica oleracea* L. Bull. Appl. Bot.17: 305–410.
- Malik, H.N., S. Malik, S.R. Chughtai y H.I. Javed (2004). Estimates of Heterosis Among Temperate, Subtropical and Tropical Maize Germplasm. *Asian Journal of Plant Sciences* 3: 6-10.
- Morris, M. L. 1998. Overview of the world maize economy. In: Maize Seed Industries in Developing Countries. Lynne Rienner Publishers, Inc. and CIMMYT, Int.
- Palomo G A, A Gaytán-Mascorro, R Faz-Contreras, D G Reta-Sánchez, E Gutiérrez-Del Río. 2004. Rendimiento y calidad de fibra de algodón en respuesta al número de riegos y dosis de nitrógeno. *Terra Lat.* 22:299-305.
- Pecina M. J A., Mendoza C. M del C., López S. J A., Castillo G. F., Mendoza R. M., y Ortiz C. J. 2011. Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 34 (2): 85-92.
- Peña R. A., González C. F. y Robles E. F J. 2010. Manejo agronómico para incrementar el rendimiento de grano y forraje en híbridos tardíos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.1 Núm.1. p. 27-35.
- Pokall L. M., Torres C. S. and Sotomayor R. A. 1991. Evaluation of Heterotic patterns among Caribbean and Tropical X Temperate maize Populations. *Crop Sci.* 31:1480-1483.
- Puertas, G. M. J. 1992. *Genética. Fundamentos y Perspectivas* McGraw-Hill. España. 741p.
- Reyes Castañeda Pedro (1985). *Diseños de Experimentos Aplicados*. Cuarta Reimpresión. Editorial TRILLAS. México. P 125.

- Reyes C. P. 1985. Citogenética Básica y Aplicada. AGT Editor S.A. México.
- Shull G.H. (1908). The Composition of a field of maize. Am. Breeders Assoc. Rep.4: 296–301.
- Shull, G. H.1948. What is the heterosis. Genetics 439-446.
- SIAP SAGARPA (2008), Importancia del Maíz en el sector Agropecuario Nacional. Índice de Maíz.
- SIAP, 2011. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Inicio/producción anual/resumen nacional por cultivo. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=346.
- Sierra M. M., Martínez, J. J. C., Alcázar A. J. J., Preciado, O. R. E, Rodríguez M. F. A. y Arroyo M. C. L. 1990. Comportamiento de híbridos experimentales de maíz en el trópico húmedo de México. En: Memoria de la XXXVI Reunión del PCCMCA 26 al 30 de marzo de 1990. El Salvador, San Salvador, C. A. p. 76-83.
- Terrón A., Preciado E., Córdova H. Mickelson H. y López. R. 1997. Determinación del patrón heterótico de 30 líneas derivadas de población 43 SR del CIMMYT. Agronomía Mesoamericana. 8 (1): 26-34.
- Vasal, S. K. G. Srinivasan, G. C. González. 1992. Heterotic patterns eighty-eight White subtropical CIMMYT maize lines. Maydica. 37:319-327. U.S.A
- Vasal, S. K. y H. Córdova. 1996. Heterosis en maíz: acelerando la tecnología de híbridos de dos progenitores para el mundo en desarrollo. Curso Internacional de Actualización en Fitomejoramiento y Agricultura Sustentable. UAAAN. Buenavista, Saltillo Coach. Pp. 32-54.
- Wellhausen E. J. 1978. Recent Development in Maize Breeding in the tropics in: Maize Breeding and Genetic D. B. Walden. Ed. Willey, N. Y. p. 59-84.

VII. APÉNDICE

Cuadro 1A. Valores medios de 9 variables y rendimiento en 36 genotipos evaluados en la UAAAN-UL 2011.

BLO	REP	TRAT	AP	AM	FM	FF	DM	NHM	GH	LM	PH	REN
1	1	17	211.7	119.3	78	82	48.8	31.7	38.6	17.3	75.2	9223.6
1	1	15	252.7	141.7	73	78	48.6	16.1	40.9	21.2	73.4	10404.3
1	1	14	232.3	131.7	76	81	49.4	15.1	42.8	16.5	77.0	7243.4
1	1	18	223.3	108.3	70	82	51.2	15.8	41.8	17.8	77.7	10580.5
1	1	13	241.7	138.3	73	81	48.2	15.3	36.0	17.8	79.0	11286.8
1	1	16	217.7	122.7	73	78	44.9	12.6	40.6	20.0	81.7	10119.2
2	1	4	241.7	139.3	75	78	47.6	21.6	33.0	18.5	80.4	14602.8
2	1	1	235.0	131.7	78	81	46.7	16.6	31.0	15.7	78.4	10003.3
2	1	6	248.3	137.7	81	86	44.1	13.8	40.4	17.7	78.8	12680.2
2	1	2	250.0	141.7	81	84	47.6	15.8	34.0	16.5	79.4	11753.0
2	1	3	260.0	154.7	75	78	51.3	16.4	36.4	14.7	78.2	12128.5
2	1	5	230.0	115.0	80	81	49.9	15.3	40.3	14.2	76.7	6661.3
3	1	23	265.0	166.7	72	83	50.9	15.1	39.3	16.3	75.8	9213.8
3	1	21	167.3	63.3	76	83	52.6	18.0	38.0	16.3	75.3	7643.4
3	1	20	203.3	110.0	73	78	47.4	14.6	35.1	17.5	77.6	6532.9
3	1	24	250.0	131.0	78	84	50.8	15.3	34.3	13.8	77.0	8044.7
3	1	19	213.3	126.7	73	78	48.6	12.6	38.9	15.5	76.3	8362.5
3	1	22	236.7	136.7	75	84	56.2	15.4	43.0	18.8	77.1	12472.1
4	1	28	195.0	97.7	70	78	44.4	13.8	41.2	16.5	75.7	7972.6
4	1	25	164.0	90.0	78	89	39.7	16.1	22.2	10.8	79.7	2723.7
4	1	30	221.7	125.3	73	81	46.3	14.0	45.6	19.7	78.8	9017.2
4	1	26	229.3	110.7	81	86	44.3	14.9	37.1	15.7	76.6	4991.2
4	1	27	210.7	126.7	73	81	44.4	14.6	34.2	14.5	78.4	8777.3
4	1	29	221.7	131.7	81	82	50.0	13.3	38.4	17.8	77.0	3395.3
5	1	11	228.3	138.3	73	81	48.2	14.6	40.9	17.8	75.3	5937.2
5	1	9	245.0	145.0	81	84	47.7	13.8	35.1	16.5	77.2	10048.2
5	1	8	235.0	150.0	80	84	42.8	14.3	36.6	15.3	78.0	10555.0
5	1	12	233.3	129.3	73	78	48.4	14.6	36.8	17.2	80.8	9688.1
5	1	7	236.7	145.0	75	82	52.0	16.0	42.2	20.7	76.0	10513.8
5	1	10	235.0	129.0	81	85	47.0	14.0	39.8	16.3	74.9	11881.7
6	1	34	230.0	133.3	78	86	46.9	14.0	37.7	19.8	75.6	4993.0
6	1	31	245.0	130.0	83	92	47.4	18.0	33.2	17.2	73.0	8098.5
6	1	36	238.3	125.0	81	82	47.6	17.3	36.3	16.0	76.5	9066.0
6	1	32	235.0	140.0	82	88	47.9	13.8	32.3	14.5	76.5	8792.7
6	1	33	235.0	146.7	78	88	52.8	13.0	36.5	14.7	71.0	6311.5
6	1	35	226.7	138.3	78	82	47.6	14.6	40.4	17.3	75.1	8722.5
7	2	31	218.3	106.7	84	88	52.9	17.4	39.2	21.8	76.3	3787.1
7	2	36	241.7	140.0	79	82	47.7	17.3	36.6	15.2	73.7	9038.4

7	2	33	256.7	157.3	75	82	52.9	12.3	46.9	15.1	77.2	4684.2
7	2	35	235.0	146.7	76	81	45.3	16.4	33.7	15.2	74.7	7128.8
7	2	32	223.3	121.7	81	86	49.7	16.6	41.3	16.2	76.0	5099.2
7	2	34	205.0	116.7	75	82	41.6	13.3	34.1	15.7	72.1	5025.1
8	2	16	233.3	125.0	73	81	44.4	13.3	39.6	17.0	81.9	9722.0
8	2	14	226.7	129.3	75	82	44.9	14.0	38.7	15.5	79.3	11022.5
8	2	17	223.3	111.7	75	81	46.8	16.0	37.2	16.3	77.0	6899.7
8	2	15	226.7	131.7	73	81	46.9	14.6	32.2	15.3	76.9	13258.6
8	2	18	216.7	136.7	73	82	46.6	13.8	39.9	14.6	77.2	7656.3
8	2	13	210.0	111.7	73	81	47.8	17.4	39.5	14.8	76.9	9595.8
9	2	25	156.7	96.7	83	89	39.6	16.3	18.1	12.1	78.2	2443.2
9	2	30	190.0	100.0	73	78	52.0	15.3	41.7	14.4	80.2	9291.2
9	2	27	230.0	128.3	73	82	45.9	13.3	35.8	17.7	79.6	8156.5
9	2	29	223.3	126.7	74	88	41.8	13.3	24.2	18.5	80.1	2935.9
9	2	26	206.7	118.3	81	89	42.9	13.5	43.8	15.9	76.7	4364.7
9	2	28	216.7	120.0	73	73	42.6	13.3	30.0	14.5	77.4	2648.1
10	2	22	223.3	133.3	78	85	50.0	13.8	37.8	14.8	76.9	10522.8
10	2	20	186.7	100.0	73	78	42.7	14.6	36.9	17.4	75.5	6677.3
10	2	23	245.0	145.0	73	81	47.6	14.0	44.9	20.1	73.9	8904.7
10	2	21	241.7	123.3	75	82	48.9	19.3	36.4	16.7	77.0	8263.3
10	2	24	240.0	146.7	81	82	47.3	15.1	30.6	15.8	75.8	7266.6
10	2	19	245.0	143.3	75	81	52.1	15.7	40.8	16.0	78.3	9968.7
11	2	7	245.0	155.0	73	82	46.1	13.7	44.2	18.4	79.2	9110.1
11	2	12	208.3	110.0	73	78	44.5	14.4	38.9	16.6	72.5	9248.0
11	2	9	236.7	121.7	78	83	43.3	14.6	28.8	16.0	76.4	8535.7
11	2	11	223.3	134.3	70	78	47.9	15.1	36.5	18.5	75.8	9230.1
11	2	8	245.0	156.7	76	84	42.5	14.6	40.2	19.2	77.3	7857.4
11	2	10	250.0	165.0	81	87	48.9	15.3	37.3	18.3	75.6	11991.2
12	2	4	225.0	130.0	78	81	48.2	17.9	34.8	17.3	75.2	11276.1
12	2	2	218.3	132.7	81	82	47.7	15.8	35.6	17.0	80.1	9833.6
12	2	5	223.3	123.3	78	82	46.7	14.0	38.6	17.3	75.8	8450.1
12	2	3	233.3	131.7	76	81	50.7	19.2	35.9	18.0	75.4	9334.6
12	2	6	245.0	128.7	78	81	43.7	14.6	40.6	18.2	80.0	11271.4
12	2	1	213.3	120.0	75	81	46.7	16.6	36.9	16.5	75.9	8120.9
13	3	28	155.0	75.0	70	78	42.4	14.3	36.8	19.0	75.5	7288.7
13	3	25	166.7	95.0	83	88	38.7	18.0	22.7	11.2	78.9	7155.6
13	3	26	203.3	110.0	81	85	40.4	14.0	39.2	13.3	76.7	5147.4
13	3	29	205.0	111.7	75	81	45.2	15.1	35.9	13.8	76.9	6645.6
13	3	27	203.3	136.7	73	78	42.6	12.6	37.4	14.5	75.6	7172.2
13	3	30	215.0	120.0	70	78	47.6	14.3	31.9	18.1	80.1	7797.4
14	3	6	221.7	136.7	81	86	44.5	14.6	37.2	18.3	75.2	8148.9
14	3	3	253.3	145.0	75	81	49.3	17.3	35.9	16.7	74.3	10069.8
14	3	5	236.7	125.0	76	81	47.1	15.3	37.3	17.7	77.7	7793.3

14	3	2	228.3	140.0	78	81	45.3	16.0	35.3	17.1	76.0	10199.2
14	3	1	226.7	131.0	79	81	47.3	17.0	31.0	15.8	79.3	8737.2
14	3	4	230.0	133.3	79	81	46.1	18.6	33.0	17.6	77.5	8424.2
15	3	22	205.0	103.3	76	85	51.6	16.6	35.8	17.2	79.0	9525.3
15	3	19	216.7	136.7	73	82	51.7	14.6	39.9	16.1	76.5	8348.9
15	3	20	181.7	105.0	73	81	46.2	14.3	41.0	15.7	74.2	6788.7
15	3	23	206.7	101.7	75	85	47.9	13.7	36.6	17.7	78.0	7959.1
15	3	21	208.3	98.3	76	84	46.8	15.1	41.6	16.0	73.7	2466.9
15	3	24	238.3	140.0	79	82	54.3	16.6	38.6	14.7	74.8	9724.2
16	3	12	201.7	113.3	73	78	46.5	14.0	35.3	17.2	75.6	8169.5
16	3	9	216.7	118.3	78	55	47.2	13.7	35.3	16.2	80.1	8421.4
16	3	11	215.0	134.3	71	78	45.1	12.6	37.7	18.3	75.7	9192.2
16	3	8	236.7	146.7	81	84	44.4	14.6	39.6	17.0	76.9	7850.1
16	3	7	236.7	136.7	73	82	47.3	16.0	42.5	18.3	75.9	7929.0
16	3	10	233.3	150.0	81	87	45.8	16.3	32.1	14.7	74.8	7806.7
17	3	34	173.3	81.7	75	82	45.1	15.3	35.2	16.3	74.7	9650.9
17	3	31	211.7	110.0	81	87	44.9	15.8	38.7	16.7	78.2	7196.8
17	3	32	220.0	135.0	81	89	47.7	13.8	37.5	15.7	75.0	6422.0
17	3	35	208.3	131.7	78	82	42.8	13.8	38.3	16.3	74.2	8465.1
17	3	33	233.3	146.7	75	84	49.1	13.8	35.2	16.5	77.4	6103.0
17	3	36	230.0	133.3	78	82	49.9	18.5	37.6	15.7	73.4	9037.0
18	3	18	243.3	153.3	78	82	51.0	14.0	39.7	16.1	77.0	7796.3
18	3	15	236.7	126.7	73	81	46.4	12.6	35.1	16.7	74.4	8568.6
18	3	17	226.3	130.0	78	85	46.8	14.0	39.7	17.7	75.3	7145.4
18	3	14	200.0	113.3	75	81	44.9	13.3	40.6	15.1	74.3	7126.8
18	3	13	193.3	103.3	75	84	52.2	17.9	39.8	17.3	78.0	7325.6
18	3	16	226.7	118.3	73	82	41.5	13.3	40.0	12.8	78.6	6775.6

Cuadro2A. Codificación para el diseño de alfa látice en lenguaje SAS 9.1.3.

```
options nodate pageno=1;
data a;
input blo rep trat AP AM FM FF DM NHM GH LM PH rend ;
cards;
```

DATOS

```
proc glm data=a;
class blo rep trat;
model ap--rend=rep blo(rep) trat/ss3;
random rep blo(rep)/test;
means trat/lsc;
Run;
```
