

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**PARÁMETROS GENÉTICOS Y APTITUD COMBINATORIA EN LÍNEAS DE
MAÍZ PARA GRANO**

**POR
IVAN MACÍAS GARCÍA
TESIS**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

TORREON, COAH.

Octubre 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

PARÁMETROS GENÉTICOS Y APTITUD COMBINATORIA EN LÍNEAS DE
MAÍZ PARA GRANO

POR:
IVAN MACÍAS GARCÍA

TESIS

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

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR:

PRESIDENTE:


DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

VOCAL:


M.C. JOSE LUIS COYAC RODRÍGUEZ

VOCAL:


DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA

VOCAL SUPLENTE:


ING. ENRIQUE LEOPOLDO HERNANDEZ TORRES


M.E. Víctor Martínez Cueto

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

Octubre 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

PARÁMETROS GENÉTICOS Y APTITUD COMBINATORIA EN LÍNEAS DE
MAÍZ PARA GRANO

P O R:
IVAN MACÍAS GARCÍA

TESIS
QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

REVISADA POR:

ASESOR PRINCIPAL:



DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

ASESOR:


M.C. JOSE LUIS COYAC RODRÍGUEZ

ASESOR:


DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA


M.E. Víctor Martínez Cueto
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



AGRADECIMIENTOS

A dios por guiarme y darme la fortaleza para lograr este objetivo tan importante en mi vida.

A mi “**ALMA MATER**” que además de proporcionar los medios para la realización de este trabajo fue el escalón a lo profesional, así como brindarme de personas que me apoyaron en todos momentos durante el transcurso de mi carrera.

Mis asesores, que con su orientación y dirección hicieron posible la culminación de este trabajo.

Dr. Armando Espinoza Banda

M.C. José Luis Cayac Rodríguez

Dra. Oralia Antuna Grijalva

DEDICATORIA

A mis padres

Mario Gerardo Macías Carrillo

Candelaria García Esteváne

Con cariño, que con su esfuerzo y dedicación me orientaron por el buen camino, además de apoyarme en todo momento durante el transcurso de mi superación profesional.

A mis hermanos

Mario Alberto Macías García

Edgar Macías García

Que han estado conmigo en los momentos que más los necesitaba, con todo mi afecto

A mis compañeros

Oscar Amador Velázquez Álvarez

Luz María Sifuentes Morín

Luis Palemón de la Luz

Sergio Rubio Lara

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó durante los ciclos primavera – verano de 2013 en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, unidad laguna, ubicada en la ciudad de Torreón, Coahuila, como parte del mejoramiento genético en maíz que se lleva a cabo en dicha institución. El objetivo fue evaluar el comportamiento hacia el ambiente de cruzas y sus progenitores e identificar los mejores.

Se evaluó el comportamiento de 16 híbridos derivados de ocho líneas de distinto programa de mejoramiento utilizando el modelo II de Carolina del Norte. La parcela experimental consto de 3m de largo, 0.75 m entre surco y surco y 0.20 m entre plantas, las variables agronómicas evaluadas fueron: floración femenina (FF), floración masculina (FM), altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), acame de raíz (ACR), acame de tallo (ACT), numero de mazorcas (NMz), peso de mazorca (PMz), peso de grano (PG), cobertura de mazorca (COB), diámetro de mazorca (DMz), longitud de mazorca (LMz), numero de granos por hilera (NGH), numero de hileras por mazorca (NH/Mz) y rendimiento de grano (RG).

De acuerdo con los valores obtenidos de ACG los padres 14 y 24 obtuvieron los valores más altos mientras que las líneas 8 y 27 los más bajos. Los valores de ACE nos mostraron que la mejor cruza fue la 14x26 con el mayor rendimiento y desarrollo. La cruza 1x28 presento los valores más bajos.

PALABRAS CLAVE: Dialelicos, Heredabilidad, Varianzas, Ambiente.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA.....	II
RESUMEN	III
I. INTRODUCCION.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	3
1.2 HIPÓTESIS.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 CULTIVO MAÍZ.....	4
2.2 HÍBRIDOS	4
2.3 INTERACCIÓN GENOTIPO – AMBIENTE.....	5
2.4 DISEÑOS GENÉTICOS	6
2.4.1 <i>Dialélicos</i>	7
2.4.2 <i>Carolina del Norte II</i>	8
2.5 EFECTOS GENÉTICOS.....	9
2.6 APTITUD COMBINATORIA	10
2.6.1 <i>Aptitud Combinatoria General (ACG)</i>	11
2.6.2 <i>Aptitud Combinatoria Específica (ACE)</i>	11
2.7 HEREDABILIDAD.....	11
III. MATERIALES Y METODOS	13
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	13
3.1.1 <i>Localización geográfica</i>	13
3.1.2 <i>Localización hidrográfica</i>	13
3.1.3 <i>Características climáticas</i>	13
3.2 DESCRIPCIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL.....	14
3.3 MATERIAL GENÉTICO.....	14
3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	15
3.5 MANEJO AGRONÓMICO	15
3.5.1 <i>Preparación del terreno</i>	15
3.5.2 <i>Siembra</i>	15
3.5.3 <i>Riego</i>	16
3.5.4 <i>Fertilización</i>	16
3.5.5 <i>Control de maleza</i>	16
3.5.6 <i>Control de plagas</i>	16
3.5.7 <i>Cosecha</i>	17
3.6 VARIABLES MEDIDAS	17
3.6.1 <i>Días a floración</i>	17
3.6.2 <i>Altura de planta (AP)</i>	17

3.6.3	<i>Altura de mazorca (AM)</i>	17
3.6.4	<i>Acame de raíz (ACR)</i>	18
3.6.5	<i>Acame de tallo (ACT)</i>	18
3.6.6	<i>Número de plantas cosechadas (NP/CSCH)</i>	18
3.6.7	<i>Numero de mazorcas (NMZ)</i>	18
3.6.8	<i>Peso de mazorca (PMZ)</i>	18
3.6.9	<i>Peso de grano (PG)</i>	18
3.6.10	<i>Cobertura de mazorca (COB)</i>	19
3.6.11	<i>Diámetro de mazorca (DMZ)</i>	19
3.6.12	<i>Longitud de mazorca (LMZ)</i>	19
3.6.13	<i>Numero de hileras por mazorca (NH/Mz)</i>	19
3.6.14	<i>Numero de granos por hilera (NGH)</i>	19
3.6.15	<i>Rendimiento de grano (RG)</i>	19
3.7	ANÁLISIS GENÉTICO	20
3.8	ESTIMACIÓN DE LOS COMPONENTES DE VARIANZA	23
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1	ANÁLISIS DE VARIANZA	24
4.1.1	<i>Ambientes (Primavera-Verano)</i>	24
4.1.2	<i>Machos (M)</i>	26
4.1.3	<i>Hembras</i>	27
4.1.4	<i>Cruzas (MxH)</i>	28
4.2	EFFECTOS GENÉTICOS	30
4.2.1	<i>Aptitud combinatoria general (ACG)</i>	30
4.2.2	<i>Aptitud combinatoria específica (ACE)</i>	31
V.	CONCLUSIONES	36
VI.	BIBLIOGRAFIA	37

I. INTRODUCCION

La planta de maíz (*Zea mays* L.) es de los cereales más importantes del mundo, porque, además de servir como alimento para el ser humano y animales, es también materia básica en la industria de la transformación.

En México es el alimento básico de las clase populares y principal cultivo con 8 403.6 miles de Ha sembradas al año (SAGARPA, 2009).

En México se están haciendo grandes esfuerzos para aumentar el rendimiento de grano de maíz (*Zea mays* L.), debido a la importancia que tiene como alimento, forraje y materia prima para la industria. La siembra de variedades mejoradas, precedida por la producción y utilización de semilla de óptima calidad, ofrece la perspectiva de un rápido y considerable aumento en la productividad de este cereal (Martínez, *et al*, 2005).

En la Comarca Lagunera, se establece anualmente en promedio, 11 815 ha de maíz para grano con una producción de 15 295 toneladas valuadas en \$72 592 288.00, en forraje la cifra es mayor con un total de 27 476 ha sembradas y una producción de 1 336 715 toneladas con un valor en \$868 864 833.00 utilizadas para alimentar 430 000 cabezas de ganado lechero con una producción diaria de 8 millones de litros de leche (SAGARPA, 2013).

La superficie total es sembrada con híbridos comerciales para grano desarrollados por compañías transnacionales para otras áreas del país. Se

considera que los híbridos altamente productores de grano son también los mejores en calidad forrajera (Peña *et al.*, 2003).

El valor de un híbrido y sus progenitores se puede determinar mediante las pruebas de aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE), es decir, que tan mejor o peor puede ser cada cruce de lo que se esperaría en base al comportamiento promedio de las líneas consideradas.

Durante el proceso de la selección, es importante considerar no solo los efectos lineales del genotipo y el ambiente, sino también la interacción genotipo x ambiente, ya que a través de ella se detecta la eficacia de la selección en función de la adaptación genotípica a través de ambientes, lo cual evita la necesidad de desarrollar programas de mejoramiento específicos para cada ambiente en particular (Wong *et al.*, 2006).

Dos son los propósitos que se persiguen al estimar los parámetros genéticos: suministrar información de la naturaleza de los genes y suministrar la información básica para la utilización de programas de mejoramiento de una población o posiblemente la información para él, así mismo, se estima la ACG de las familias de hermanos completos.

Entre los parámetros genéticos más importantes se encuentra la heredabilidad que en mejoramiento genético es la predicción de ganancia por selección. Así mismo la heterosis, nos permite determinar cuál híbrido resultante del cruzamiento de dos variedades, es superior al promedio de sus progenitores.

1.1 Objetivos

1. Estimar las varianzas y los efectos genéticos para características agronómicas y de productividad en cruzas y sus progenitores.
2. Cuantificar el efecto de la interacción genotipo – ambiente en dos ciclos de evaluación.
3. Identificar los híbridos más estables y/o con menor interacción genotipo – ambiente para dos ciclos de cultivo.

1.2 Hipótesis

1. Las líneas de cada programa de mejoramiento, pertenecen a diferente grupo heterotico, y por lo tanto es posible obtener la mejores combinaciones híbridas.
2. Dentro de cada grupo de líneas, es posible identificar combinaciones híbridas con buen potencial de rendimiento.
3. En los híbridos con la mejor estabilidad, son los de mayor rendimiento y comportamiento agronómico.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cultivo maíz

Fueron los indígenas mexicanos quienes hicieron evolucionar al maíz, sembraron las variedades derivadas, es decir las variedades nativas o variedades criollas. Con la formación de las razas obtenidas y con los cruzamientos interraciales se dio origen a las razas modernas, de las cuales se han obtenido los híbridos actuales de muy altos rendimientos (Márquez, 1992).

2.2 Híbridos

Se define a un híbrido como el aumento de tamaño o en vigor de este con respecto a sus progenitores (Allard, 1980).

Los híbridos están formados por líneas que han pasado por un largo proceso de selección, es decir, líneas que han sobrevivido al menos cuatro a cinco autofecundaciones, y han pasado, por presiones de selección hacia diversas características como rendimiento, resistencia a enfermedades e insectos, acame de raíz y de planta (De la Rosa *et al.*, 2006).

El objetivo inmediato de la hibridación es la producción de ejemplares que presenten nuevas combinaciones o agrupaciones de caracteres y generalmente mayor vigor (De la Loma, 1954).

Se define al vigor híbrido como el incremento de vigor del híbrido con respecto al vigor promedio de sus progenitores, lo anterior se puede explicar de acuerdo a las siguientes teorías:

a).-Efecto estimulante que los alelos heterocigotos tienen sobre la planta híbrida.

b).-Explica el vigor híbrido como la interacción de genes dominantes favorables, suponiendo que el vigor híbrido resulta de la acción de genes dominantes de los cuales cada uno aporta un pequeño incremento al rendimiento final (Poehlman, 1983).

Las características fundamentales de los factores o genes que intervienen en el vigor del híbrido son tres: a) ser muy numerosos, b) tender preferentemente a ser completamente dominantes sobre los alelomorfos y c) ser complementarios unos de otros (Allard, 1980).

El vigor híbrido generalmente se determina para caracteres como tamaño o rendimiento, pero estos son solo los 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 (Crees, 1956).

2.3 Interacción genotipo – ambiente

La expresión fenotípica depende de los efectos genéticos ambientales y de su interacción; por lo tanto, es importante estudiar el efecto de los factores ambientales en las respuestas de las plantas. Considerando que el crecimiento, desarrollo y producción de una planta depende de procesos fisiológicos y estos a su vez dependen de interacciones complejas entre el estado de la planta, estado de la atmósfera circundante y la propia naturaleza de los mecanismos o procesos

fisiológicos y físicos, solo a través del mejor entendimiento de las respuestas fenológicas y fisiológicas de los cultivos al ambiente físico, y de las interacciones genotipo – ambiente, se podrá contribuir a mejorar la eficiencia del proceso productivo de las plantas y de su mejoramiento genético (Livera, 1992).

Se entiende por interacción genotipo – ambiente como “El comportamiento relativo diferencial que exhiben los genotipos cuando se les somete a diferentes medios ambientales” (Márquez, 1992).

El número de ambientes y principalmente la heterogeneidad de los mismos son el factor importante en la estimación de la media de rendimiento y los parámetros de estabilidad, así mismo se propone un rango de cinco a diez ambientes por evaluación (Juárez, 1977).

A través de la interacción genotipo \times ambiente se detecta la eficacia de la selección en función de la adaptación genotípica a través de ambientes lo cual evita la necesidad de desarrollar programas de mejoramiento específicos para cada ambiente en particular (Wong *et al.*, 2006).

2.4 Diseños genéticos

Los diseños genéticos o diseños de apareamiento son planes de cruza entre los individuos de una población con el objeto de estudiar técnicamente los efectos y las varianzas genéticas (variables casuales), para enseguida relacionar aquellos con los datos empíricos de tales progenies (variables observables), y poder estimar los parámetros genéticos que interesen. Generalmente estos son las varianzas genéticas, ambientales y fenotípicas, a fin de obtener estimaciones

de la heredabilidad (en sentido estrecho o amplio), para hacer predicciones de la respuesta de selección (Márquez, 1988).

2.4.1 Dialélicos

Una forma de estimar estos parámetros genéticos es por medio de los diseños dialélicos como los propuestos por Griffing (1956).

Al hablar de cruzas dialélicas se entiende como el procedimiento en el cual un grupo de P líneas o progenitores se cruzan entre sí tantas veces como sea posible para así un máximo de P^2 cruzamientos, los cuales pueden ser representados en una matriz de P x P elementos (Griffing, 1956).

Se emplean para los componentes genéticos de variación entre los rendimientos de las propias cruzas, así como su capacidad productiva (Márquez, 1975).

Estos nos sirven para estimar el tipo de acción génica involucrado en el material de estudio, así mismo, nos indica la factibilidad de explotar el fenómeno de vigor híbrido en la producción de híbridos (Griffing, 1956).

El análisis dialélico es una forma para determinar los efectos aditivos principales de los progenitores y sus interacciones en los cruzamientos individuales. La interacción en este caso es usada como indicador de desviación de actividad (Gilbert, 1958).

2.4.2 Carolina del Norte II

Se desarrollaron tres diseños, conocidos como de Carolina del Norte I, II, III, respectivamente. Cada uno de estos provee estimaciones para los dos más importantes parámetros genéticos, es decir varianza genética aditiva y varianza genética de dominancia (Mota, 2003).

El diseño II es denominado como diseño factorial o cruza. Esta técnica de apareamiento consiste principalmente en cruzar un grupo determinado de progenitores machos con un conjunto de hembras, en todas las combinaciones posibles. La única restricción del diseño, es que unos progenitores actúan como machos y otros solo como hembras. Este diseño tiene la ventaja de manejar un número grande de cruzas con respecto a los dialélicos. Con este diseño, se puede hacer inferencia sobre dos estimaciones independientes de la varianza aditiva y la varianza de dominancia (Hallauer *et al.*, 1981). También nos sirve para demostrar el ligamiento entre loci en la sobredominancia aparente. Se inicia con el cruzamiento de dos líneas homocigotas progenitoras (obteniendo una retrocruza hacia ambos progenitores), obteniendo $2n$ cruzas posibles (Comstock y Robinson, 1948).

En este diseño se aparean un número de machos con un igual número p_2 de hembras cada uno. De tal manera que tendremos p^2 apareamiento (Comstock y Robinson, 1948). Es decir, n_1 machos y n_2 hembras son seleccionadas al azar y cada macho es cruzado con cada hembra, generando medios hermanos paternos y maternos. Así $n_1 \times n_2$ progenies son producidos para ser analizados en experimento conveniente (Singh *et al.*, 1976).

Así mismo el diseño de Carolina del Norte II provee información acerca de la aptitud combinatoria general para los machos y hembras y la aptitud combinatoria específica para las cruzas o progenies F_1 (Kempthorne, 1957).

2.5 Efectos genéticos

El tipo de acción génica es la manera en que un gene manifiesta su efecto (Molina, 1992). Uno de los procedimientos más usados para el estudio de estos efectos genéticos es el análisis de cruzas dialélicas; es decir, las cruzas simples posibles que pueden lograrse entre los elementos de un conjunto básico de progenitores. El conocimiento de la diversidad genética, heterosis y habilidad combinatoria general y específica del germoplasma de un programa de mejoramiento es esencial para cumplir, entre otros objetivos, el desarrollo de híbridos o variedades, la creación de más variabilidad genética, evitar vulnerabilidad genética e implementar programas de selección recurrente (De la Rosa *et al.*, 2006).

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

Entonces, los efectos genéticos y la heterosis son datos importantes para evaluar el potencial genético de un grupo de progenitores en un programa de

mejoramiento, así como de las progenies que resultan del cruzamiento entre ellos (Gaspar, *et al*, 2005).

2.6 Aptitud Combinatoria

El estudiar y conocer la aptitud combinatoria en un programa de mejoramiento nos ayuda a obtener una mayor eficiencia en dicho programa. Inicialmente, la aptitud combinatoria fue un concepto general, utilizada para la clasificación de una línea en relación con su comportamiento en cruzas, actualmente se estima en familias, variedades, cruzas simples o en cualquier material que se use como progenitor (Martínez, 1983).

Generalmente el termino aptitud combinatoria significa la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, es la capacidad medida por medio de su progenie, sin embargo la aptitud combinatoria debe de determinarse no en un solo individuo de la población si no en varios, a fin de poder realizar una selección de aquellos que exhiban la más alta (Márquez, 1988).

En la práctica estos conceptos permiten seleccionar líneas con buen comportamiento promedio en una serie de cruzamientos e identificar combinaciones híbridas específicas con un comportamiento superior a lo esperado en base al promedio de las líneas que intervienen en el cruzamiento (Fuentes, *et al.*, 1997). Además estos análisis también proveen información acerca del tipo de acción génica que está presente en la población base, lo cual ayuda en la selección del material progenitor para ser usado en la producción de cruzas y poblaciones segregantes (Mota, 2003).

2.6.1 Aptitud Combinatoria General (ACG)

Se define como aptitud combinatoria general (ACG) al comportamiento promedio o general de una línea en una serie de combinaciones híbridas (Sprague y Tatum, 1942). Esta se encuentra relacionada con los genes de efectos aditivos y/o aditivos por aditivos (Matzinger, 1963).

2.6.2 Aptitud Combinatoria Específica (ACE)

Identifica las combinaciones específicas que son mejores o peores que lo esperado con base en la ACG de sus padres se relaciona principalmente con efectos génicos de dominancia. Es el resultado del efecto conjunto de dos líneas en particular, por lo que a diferencia de la aptitud combinatoria general, esta es medida como la desviación de la suma de la media general más las aptitudes combinatorias de los progenitores. Esta medida no es característica de cada línea en particular, sino de una combinación especial de pares de líneas (Sprague y Tatum, 1942).

La aptitud combinatoria específica se emplea para designar aquellos casos en los cuales ciertas combinaciones lo hacen relativamente mejor o peor de lo que podría esperarse sobre la base del comportamiento promedio de las líneas involucradas (Martínez, 1983).

2.7 Heredabilidad

En sentido amplio se puede decir que la heredabilidad es la relación entre la varianza genética total y la varianza fenotípica, y en sentido estrecho, como relación entre la varianza aditiva y la varianza fenotípica (Dudley y Moll, 1968).

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

Cuanto mayor sea la heredabilidad de un carácter cuantitativo, mayor será el parecido entre el grupo de individuos y sus descendientes y que cuanto mayor sea el componente de variación fenotípica debido al ambiente, menor será la correlación entre la manifestación del carácter en los progenitores y en sus descendientes (De la Loma, 1975).

Se utiliza para estimar los parámetros genéticos y las correlaciones fenotípicas además de identificar genotipos con altos rendimientos (Silva, 1999). Así mismo, que parte de la variación total observada de un carácter corresponde a factores genéticos y que parte a factores ambientales (Brauer, 1981).

Es un parámetro que expresa la proporción de la varianza total que es atribuible a los efectos promedios de los genes y esto determina en parte el grado de parecido entre parientes (Becker, 1986).

Para rendimiento, la heredabilidad aumenta conforme cambia de medios hermanos a hermanos completos y a progenies autofecundadas S_1 y S_2 (Córdova y Vasal, 1996).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción del área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo durante los ciclos primavera – verano de 2013 en Comarca Lagunera. Esta se localiza en la parte central del norte de México, abarca parte de los estados de Coahuila y Durango. En Coahuila comprende los municipios de Torreón, Matamoros, San Pedro de las Colonias, Viesca, y Francisco I. Madero; en Durango comprende los de Gómez Palacio, Tlahualilo, Mapimi y Lerdo.

3.1.1 Localización geográfica

La Comarca Lagunera es una región agrícola y ganadera, con los límites geográficos siguientes: se localiza entre los paralelos 24° 30' y 27° Latitud Norte y entre los meridianos 102° 00' y 104° 00' Longitud Oeste, respecto al meridiano de Greenwich y a una altitud de 1120 msnm.

3.1.2 Localización hidrográfica

La localización hidrográfica de esta área es la cuenca baja del Rio Nazas, desde el Cañón de Fernández, Dgo., hasta la Laguna de Mayran, Coah., y la cuenca baja del Rio Aguanaval, desde Punta de Santo Domingo, Coah., hasta la Laguna de Viesca, Coah. Es decir, se trata de una olla hidrográfica cerrada, en la que desembocan los ríos Nazas y Aguanaval, que forman una cuenca endorreica.

3.1.3 Características climáticas

Según clasificación de Thorntwhaite, el clima de la Comarca Lagunera es árido, mesotermico, con lluvias escasas en todas las estaciones y una

precipitación promedio de 200 mm anuales. La temperatura media es de 21°C, con un periodo libre de heladas del mes de Abril al de Septiembre.

3.2 Descripción del sitio experimental

El trabajo se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna (UAAAN-UL), ubicada en Periférico y carretera Santa Fe s/n Torreón Coahuila, México.

3.3 Material genético

El material genético tiene su origen en los programas de mejoramiento genético de la UAAAN-UL y del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Las líneas de la UAAAN-UL, AN1, AN2, AN8 y AN14, provienen de la población-60 y las líneas AN82 y AN78(Cuadro3.1).

Cuadro 3.1 Origen de las líneas.

Línea	Origen	Línea	Origen
AN1	A-30-01	AN24	CML-506
AN2	A-57-02	AN26	CML-509
AN8	RAZ-32-22	AN27	AN-82
AN14	RAZ-06-37	AN28	AN-78

3.4Diseño experimental.

Para la evaluación en campo, se utilizó un diseño en bloques al azar con dos repeticiones. La parcela total fue de dos surcos de 3m de largo, 0.75m entre surco, 0.20m entre plantas, esto en primavera, en verano 5m de largo, 0.75m entre surco y 0.20m entre plantas.

3.5 Manejo agronómico

3.5.1 Preparación del terreno

En el ciclo de evaluación P13 el terreno se preparó iniciando con un barbecho seguido de dos pasadas de rastra, después se pasó la sembradora solo resaltando los surcos y posteriormente se marcaron las parcelas útiles a sembrar.

El ciclo V13 se inició con la doble pasada de rastra para después resaltar los surcos con la sembradora y finalizar marcando con cal las parcelas útiles que se sembraran.

3.5.2 Siembra

Ambas siembra se llevaron a cabo durante el ciclo primavera-verano 2013, la primera de ellas el 20 de Marzo y la segunda el 11 de Junio, las cuales se realizaron de la siguiente manera respectivamente:

1.- En el ciclo P13 fueron surcos con un largo de 3m y una separación entre ellos de 0.75m, además de una distancia entre planta y planta de 0.20m, colocando dos semillas por golpe.

2.- Los surcos en el ciclo V13 fueron de 5m de largo con una separación de 0.75m entre cada uno de ellos y una distancia de 0.20m entre planta y planta, la cantidad de semillas por golpe fue de dos.

3.5.3 Riego

3.5.4 Fertilización

En ambas siembras la fertilización fue la misma, distribuida en cuatro aplicaciones, dando una dosis total de 180-90-00. La primera de estas es de 90-90-00 y se realiza antes de la siembra. Las 90 unidades de N₂ restantes se distribuyeron en las tres aplicaciones faltantes, las cuales se hicieron durante los riegos.

3.5.5 Control de maleza

Este tipo de control se llevó de manera manual, mecánica y con ayuda de herbicidas sistémicos pre y post emergente al cultivo. La primera de estas aplicaciones se realizó después del riego para la emergencia de la planta y la segunda se dividió en dos aplicaciones durante el desarrollo del cultivo. Esto de igual manera durante los dos ciclos de evaluación.

3.5.6 Control de plagas

Durante el ciclo P13 se realizaron un total de cuatro aplicaciones de insecticidas para combatir tres tipos de plagas. La primera de estas fue con la utilización de Dimetoato para el control de pulga saltona (*Epitrix*sp), la segunda y tercera se manejó Cipermetrina además de Clorpirifos granulado respectivamente para el control de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), posteriormente en la

cuarta aplicación se utilizó Abamectina para la araña roja (*Tetranychus* sp). El control en el ciclo V13 fue similar, con la única diferencia de excluir la cuarta y última aplicación.

3.5.7 Cosecha

La cosecha fue de forma manual identificando cada uno de los tratamientos. Ambas se realizaron en el año 2013, posterior a ello se desgrano y se hicieron las evaluaciones correspondientes.

3.6 Variables medidas

3.6.1 Días a floración

Se determina el número de días transcurridos entre la siembra y hasta que el 50% de las plantas hayan producido sus anteras (FF), y el número de días desde la siembra hasta que el 50% de las plantas hayan emitido sus estigmas (FM).

3.6.2 Altura de planta (AP)

Se muestrearon un total de tres plantas representativas por tratamiento para posteriormente calcular el promedio de las mismas. Esta medida se realizó al medir desde la superficie del suelo hasta el punto superior de la espiga.

3.6.3 Altura de mazorca (AM)

Se muestrearon tres plantas representativas de cada tratamiento de las cuales se calculó el promedio. La medida se tomó midiendo desde la superficie del suelo hasta el nudo de la inserción de la mazorca principal.

3.6.4 Acame de raíz (ACR)

Se contó el número de plantas caídas las cuales presentaban fractura en la raíz.

3.6.5 Acame de tallo (ACT)

Se contabilizo el número de plantas caídas y que presentaran fractura debajo de la mazorca principal.

3.6.6 Número de plantas cosechadas (NP/CSCH)

Se determinó por medio de conteo el número final de plantas durante la cosecha.

3.6.7 Numero de mazorcas (NMZ)

Durante la cosecha se contaron el número total de mazorcas que presentaban por lo menos un grano desarrollado. Esta variable se utilizara después para junto con el número de plantas cosechadas poder determinar el número de mazorcas por planta.

3.6.8 Peso de mazorca (PMZ)

Después de haber contabilizado el número de mazorcas, estas son pesadas en campo.

3.6.9 Peso de grano (PG)

Después del desgrane de mazorcas por tratamiento, se debe de pesar. Esta medida nos ayudara a determinar el rendimiento de grano.

3.6.10 Cobertura de mazorca (COB)

La observación se realiza en campo con las mazorcas cosechadas de ellas se calcula un promedio de las mismas en referencia a que porcentaje de la mazorca presenta grano. La medida es desde 1 siendo este el de mejor cobertura hasta 5 el de cobertura nula.

3.6.11 Diámetro de mazorca (DMZ)

Se muestrean cinco mazorcas representativas y con la ayuda de un vernier se mide la parte media de cada una de ellas. Posteriormente se calcula el promedio.

3.6.12 Longitud de mazorca (LMZ)

Se muestrean cinco mazorcas representativas las cuales son medidas desde la base de la mazorca hasta la punta de la misma. Después de ello se calcula el promedio.

3.6.13 Numero de hileras por mazorca (NH/Mz)

Se muestrean cinco mazorcas representativas y a las mismas se les cuenta el número total de hileras. Después se calcula el promedio de las medidas.

3.6.14 Numero de granos por hilera (NGH)

Se muestrean cinco mazorcas representativas y en cada una de ellas se cuenta el total de granos de la hilera más completa. Posteriormente se promedian.

3.6.15 Rendimiento de grano (RG)

Esta variable se calcula a partir del peso obtenido en el desgrane y el área de la parcela.

3.7 Análisis genético

Para el análisis de datos se utilizó el diseño II de Carolina del Norte propuesto por Comstock y Robinson (1948), dividiéndose en un grupo de machos y un grupo de hembras. Este cruzamiento hace posibles cruzamientos entre un grupo de individuos machos (m), y un grupo de individuos hembras (h) donde resultan un total de descendientes (hm). Así cada familia produce una familia de medios hermanos maternos y paternos. Para los diferentes caracteres estudiados se realizó un análisis de varianza combinado que incluyó las localidades estudiadas con base al diseño II de Carolina del Norte.

$$Y_{ijk} = \mu + M_i + H_j + (MH)_{ij} + W_{ijk}$$

Para:

$$i = 1, 2, \dots, m \text{ (machos)}$$

$$j = 1, 2, \dots, h \text{ (hembras)}$$

$$k = 1, 2, \dots, n_{ij} \text{ (individuos dentro de cruzamiento)}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Observación del k –ésimo individuo de cruzamiento del i –ésimo macho con la j –ésimo hembra.

μ = media común

M_i = efecto del i –ésimo macho

H i = efecto de la j – ésima hembra

(MH) ij = efecto de la interacción del i – ésimo macho con la j – ésima hembra

W ijk = efecto ambiental y efecto de las desviaciones genéticas remanente

Cuadro 3.2 Análisis de varianza combinado bajo el diseño II de Carolina del Norte.

FV	GL	CM	ECM
Localidad	(l-1)	CM ₈	$\sigma_e^2 + r\sigma_{lmh}^2 + r\sigma_{lh}^2 + rh\sigma_{lm}^2 + rmh\sigma_l^2$
Rep (Loc)	(r-1)(l)		
Macho (Mac)	(m-1)	CM ₇	$\sigma_e^2 + r\sigma_{lmh}^2 + rl\sigma_{mh}^2 + rh\sigma_{lm}^2 + rlh\sigma_m^2$
Loc X Mac	(n-1)(m-1)	CM ₆	$\sigma_e^2 + r\sigma_{lmh}^2 + rh\sigma_{lm}^2$
Rep X Mac (Loc)	(m-1)(n-1)(l)		
Hembras (Hem)	(h-1)	CM ₅	$\sigma_e^2 + r\sigma_{lmh}^2 + rl\sigma_{mh}^2 + r\sigma_{lh}^2 + rlm\sigma_h^2$
Loc X Hem	(l-1)(h-1)	CM ₄	$\sigma_e^2 + r\sigma_{lmh}^2 + r\sigma_{lh}^2$
Rep X Hem (Loc)	(h-1)(n-1)(l)		
Mac X Hem	(m-1)(h-1)	CM ₃	$\sigma_e^2 + r\sigma_{lmh}^2 + rl\sigma_{mh}^2$
Loc X Mac X Hem	(n-1)(m-1)(h-1)	CM ₂	$\sigma_e^2 + r\sigma_{lmh}^2$
Error	(r-1)(mhl)-LxM-LxH-R(L)	CM ₁	σ_e^2
Total	rmhl-1		

Se estimaron los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) para los grupos de machos y hembras así como sus cruzas para cada una de las variables de acuerdo con los principios de Sprague y Tatum (1942).

$$g_1 = \bar{Y} - \bar{Y}_{..}$$

$$g_j = \bar{Y}_j - \bar{Y}_{..}$$

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

Dónde:

g_1 = aptitud combinatoria general para los machos

g_j = aptitud combinatoria general para las hembras

S_{ij} = aptitud combinatoria especifica

La significancia estadística de la diferencia entre la aptitud combinatoria de los híbridos que se evaluaron mediante la prueba de t o diferencia mínima significativa como lo indican Chaudhary y Singh (1979).

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

Dónde:

DMS = diferencia mínima significativa

EE = error estándar para la comparación de medias

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

El error estándar con m machos, h hembras, l localidades y r repeticiones equivale a los siguientes:

$$EE = \sqrt{\frac{2CMEE}{lrm}} \text{ para ACG de hembras}$$

$$EE = \sqrt{\frac{2CMEE}{lrh}} \text{ para ACG de machos}$$

3.8 Estimación de los componentes de varianza

Los componentes de varianza se estimaron a partir de los cuadros medios del análisis de varianza usando el diseño II de Carolina del Norte, y se calcularon las siguientes estimaciones:

- a) Varianza del error (σ_e^2)

$$M_l = \sigma_e^2$$

- b) Varianza genética aditiva (σ_A^2)

$$\Sigma^2_G = 1/2\sigma^2_A; \sigma^2_A = 2\sigma^2_G$$

- c) Varianza genética de dominancia (σ_D^2)

$$\sigma^2_S = \sigma^2_D$$

$\sigma^2_A =$ *Varianza de aptitud combinatoria específica*

$\sigma^2_D =$ *Varianza de dominancia*

- d) Varianza fenotípica (σ_f^2)

$$\sigma_f^2 = \sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_e^2$$

- e) Grado de dominancia (d)

$$d = \sqrt{\frac{2D^2}{\sigma_A^2}}$$

- f) Heredabilidad en sentido estricto (h^2)

$$h = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_F^2} \times 100$$

IV. Resultados y Discusión

4.1 Análisis de varianza

4.1.1 Ambientes (Primavera-Verano)

Los resultados de análisis de varianza (cuadro 4.1), se observan diferencias altamente significativas para floración masculina (FM) y femenina (FF), altura de planta (AP) y mazorca (AM), peso de mazorca (PMz), número de granos por hileras (NGH) y rendimiento de grano (REG). Así mismo diferencias significativas para acame de raíz (AcR) y diámetro de mazorca (DMz).

Lo anterior indica que las cruzas responden de forma diferente al los ambientes de prueba, lo cual tiene sustento en las diferencias ambientales propias de las siembras de Primavera y Verano.

En el cuadro 4.2 se observa las diferencias cuantitativas en ambos ciclos de evaluación. En el ciclo primavera, las cruzas fueron significativamente más tardías, con menor altura de planta y mazorca, con mayor acame de raíz, con mayor diámetro de mazorca y número de granos por hileras y mayor peso de mazorca y rendimiento de grano, contrario a lo que se observó en el ciclo verano. Las variables con menor influencia por el ciclo de siembra fueron LMz y NH.

Cuadro 4.1 Análisis de varianza de 13 variables agronómicas de 16 cruzas generadas con el diseño-II de Carolina del Norte evaluadas en primavera y verano en la UAAAN-UL. 2013.

FV	FF	FM	AP	AM	ACR	ACT	PMZ	DMz	LMz	NH	NGH	REG(x10 ⁶)	
GL	Días	Días	M	M	%	%		cm	cm			Kg/ha	
Ambientes (A)	1	7353.06**	7482.25**	2863.59**	2827.58**	2.25*	0.39	3.67**	0.72*	0.86	9.00	118.26**	186.62**
Rep (A)	2	6.91	1.91	582.04**	284.78**	0.25	1.01	0.89	1.05**	4.35*	3.62	7.89	52.93
Machos (M)	3	58.04**	75.94**	1660.52**	1259.52**	0.45	0.56	0.34**	0.13	0.89	5.41**	16.09	3.31*
AxM	3	3.1**	6.79**	271.33**	134.23*	0.79	0.34	0.91**	0.14	1.58	4.16*	11.43	5.73**
RepxM (A)	6	0.41	0.11	39.95	2.65	1.41*	0.26	0.14	0.11	2.77	0.79	7.89	0.62
Hembras (H)	3	2.37*	3.1	29.46	76.04**	0.37**	0.18	0.42	0.07	1.28	5.42*	6.56	2.33
AxH	3	7.35*	7.87*	9.36	22.92	0.37**	0.55	0.02	0.08	1.08	1.5	1.31	0.39
RepxH (A)	6	0.69	1.07	9.71	9.91	0.08	0.26	0.33	0.09	0.44	1.12	7.47	2.64
MxH	9	8.22*	9.97*	184.99**	127.13*	0.17	0.33	0.42	0.13	2.51	2.14	9.33	1.45
AxMxH	9	0.78	1.47	317.88**	129.66*	0.25	0.18	0.38	0.12	1.35	1.33	5.58	2.77
E.E.	18	2.81	3.11	35.43	42.01	0.36	0.29	0.42	0.09	1.18	2.29	7.42	3.48
C.V.		2.37	2.55	2.37	4.35	240.37	203.92	21.67	6.52	6.22	9.57	7.38	25.21
MEDIA		70.68	69.09	250.97	148.68	0.25	0.26	2.98	4.79	17.46	15.81	36.9	7406.11

*, **: Significativo al ≤ 0.05 y ≤ 0.01 de probabilidad respectivamente. FF= floración femenina, FM= floración masculina, AP= altura de planta, AM= altura de mazorca, ACR= acame de raíz, ACT= acame de tallo, PMz= peso de mazorca, PG= peso de grano, COB= cobertura de mazorca, DMz= diámetro de mazorca, LMz= longitud de mazorca, NH= número de hileras, NGH= número de granos por hilera, RG= rendimiento de grano.

Experimentales evaluados en los ciclos de primavera y verano.

Cuadro 4.2 Valores medios de 12 variables cuantificadas en 16 híbridos

Ambiente	FF	FM	AP	AM	ACR	ACT
Primavera	81.41 a [†]	79.91 a	244.28 b	142.03 b	0.44 a	0.19 a
Verano	59.97 b	58.3 b	257.66 a	155.32 a	0.06 b	0.34 a
DMS	0.88	0.93	3.12	3.4	0.31	0.3

Ambiente	PMz	DMz	LMz	NH	NGH	RG
Primavera	3.22 a	4.9 a	17.57 a	15.44 a	38.25 a	9113.9 a
Verano	2.74 b	4.69 b	17.34 a	16.19 a	35.53 b	5698.3 b
DMS	0.34	0.16	0.57	0.79	1.43	980.5

† Valores medios con letras iguales, son estadísticamente iguales al 0.05 de probabilidad. FF= floración femenina, FM= floración masculina, AP= altura de planta, AM= altura de mazorca, ACR= acame de raíz, ACT= acame de tallo, PMz= peso de mazorca, DMz= diámetro de mazorca, LMz= longitud de mazorca, NH= número de hileras, NGH= número de granos por hilera, RG= rendimiento de grano.

4.1.2 Machos (M)

Para este efecto, el análisis de varianza (cuadro 4.1) muestra diferencias altamente significativas entre las líneas Macho en las características agronómicas **FF, FM, AP y AM**; así mismo, en las variables relacionadas con el rendimiento de grano como **PMZ y NH** además del rendimiento de grano (**RG**). En el resto de variables evaluadas no se encontró diferencias significativas.

Al interactuar con el ambiente las alturas se ven significativamente afectadas demostrando un claro efecto del ambiente, donde contrario a lo esperado estas

líneas presentaron menor estatura en primavera y mayor en verano. En relación a las medias de los machos (cuadro 4.3) la diferencia que existe entre materiales en FF y FM muestra que la diferencia entre líneas es muy clara donde la línea-14 es más la más precoz y la de mayor AP y AM, y la de mayor rendimiento de grano (RG). En general, las cuatro líneas presentaron resistencia al acame de raíz (ACR) y tallo (ACT).

Cuadro 4.3 Valores medios para 12 variables agronómicas cuantificadas en cuatro líneas utilizadas como machos.

MACHOS	FF	FM	AP	AM	ACR	ACT
1	71.75 ab	70.87 a	246.09 b	140.45 c	0.12 a	0.50 a
2	72.37 a	70.31 a	247.55 b	149.64 b	0.19 a	0.06 a
8	70.56 b	69.19 b	244.13 b	143.91 bc	0.19 a	0.19 a
14	68.06 c	66.00 b	266.1 a	160.71 a	0.5 a	0.31 a
DMS(0.05)	0.55	0.29	5.47	1.41	1.03	0.44
MACHOS	PMz	DMz	LMz	NH	NGH	RG
1	2.86 b	4.82 a	17.58 a	15.75 b	35.50 a	6896.7 b
2	3.07 a	4.91 a	17.29 a	15.62 b	37.62 a	7408.9 a
8	2.86 b	4.7 a	17.22 a	16.62 a	36.81 a	7317.8 ab
14	3.14 a	4.74 a	17.72 a	15.25 b	37.62 a	8001.1 a
DMS(0.05)	0.32	0.29	1.44	0.77	2.43	680.84

MAC= machos, FF= floración femenina, FM= floración masculina, AP= altura de planta, AM= altura de mazorca, ACR= acame de raíz, ACT= acame de tallo, NMP= número de mazorcas por planta, PMz= peso de mazorca, COB= cobertura de mazorca, DMz= diámetro de mazorca, LMz= longitud de mazorca, NH= número de hileras, NGH= número de granos por hilera, RG= rendimiento de grano

4.1.3 Hembras

Las hembras fueron significativamente en FF, AM, ACR y NH e iguales para el resto de las variables. Lo anterior implica que son muy similares ya que las líneas 24 y 26 son de germoplasma CIMMYT y las líneas 27 y 28 fueron

seleccionadas de poblaciones con germoplasma CIMMYT. Lo anterior se observa en la similitud en FM y en la AP, así como en las características de mazorca, (con excepción de NH) y rendimiento de grano (RG).

Las variables FM, FF y ACR interactuaron significativamente con el ambiente, es decir, que éstas variables las afecta el cambio de ciclo de siembra, pero se observa poco efecto sobre el resto, lo que hace suponer que tienen adaptabilidad para el resto, entre las que se encuentra el RG.

Cuadro 4.4 Medias de 12 variables agronómicas cuantificadas en cuatro líneas utilizadas como hembras.

Hembras(H)	FF	FM	AP	AM	ACR	ACT
24	71.12 a	69.56 a	252.46 a	147.34 b	0.06 b	0.37 a
26	70.18 b	68.50 a	251.67 a	151.67 a	0.37 a	0.25 a
27	70.69 a	69.19 a	250.31 a	146.81 b	0.37 a	0.31 a
28	70.75 a	69.12 a	249.43 a	148.87 b	0.19 a	0.12 a
DMS	0.72	0.89	2.70	2.72	0.24	0.44
Hembras	PMz	DMz	LMz	NH	NGH	RG
24	3.18 a	4.71 a	17.20 a	15.87 a	37.69 a	7757.8 a
26	3.03 a	4.82 a	17.32 a	16.00 a	36.31 a	7713.3 a
27	2.91 a	4.86 a	17.72 a	15.00 b	36.44 a	7101.1 a
28	2.81 a	4.79 a	17.66 a	16.37 a	37.12 a	7052.2 a
DMS	0.50	0.26	0.97	0.52	2.36	1404.4

H= hembras, floración femenina (FF) y masculina (FM); altura de planta(AP) y mazorca(AM), acame de raíz(ACR) y de tallo(ACT), PMz= peso de mazorca, DMz= diámetro de mazorca, LMz= longitud de mazorca, NH= número de hileras, NGH= número de granos por hilera, RG= rendimiento de grano.

4.1.4 Cruzas (MxH)

Las cruzas fueron significativamente diferentes para las variables altura de planta (AP) y mazorca (AM), floración masculina (FM) y femenina (FF).La variabilidad entre las líneas macho al parecer afecto a la escasa observada entre

las hembras. Para el resto de las variables inclusive el rendimiento de grano (RG) no se reflejó en las diferencias. Al interactuar con ambos ambientes (cuadro 4.1) se observa que las variables más afectadas fueron la floración y la altura de planta y mazorca. La cruz **1x28** fue significativamente la más tardía con 73.3 y 72 días a floración Masculina y femenina respectivamente (Cuadro 4.5). Además fue la de menor altura. En contraste, la cruz **14x26** es del grupo con mayor precocidad y con alturas de planta y mazorca superiores a la media. Lo mismo se observa para DMz y LMz y Rendimiento de grano (RG). Respecto al RG, esta cruz (14x26), es 2019 Kg/ha superior a la media y 3084 Kg/ha de la cruz con menor rendimiento (1x28). Otra cruz interesante es la 14x24, de ciclo intermedio y altura superior a la media, además con el mayor NGH y en la segunda posición en RG. Resalta también, que las hembras cruzadas con el macho 14, promediaron el mayor RG, lo cual indica que la Línea 14, tiene capacidad de combinar con las cuatro Líneas hembras y, específicamente con las Líneas AN24 y AN26, provenientes del CIMMYT y del Programa de mejoramiento de la UAAAN-UL.

Cuadro 4.5 Valores medios de 12 variables agronómicas cuantificadas en 16 cruza generadas bajo el esquema del diseño-II de Carolina del Norte.

Cruza	FF	FM	AP	AM	ACR	ACT	PMz	DMz	LMz	NH	NGH	RG
1 x 24	71.5	69.8	252.2	137.8	0.0	0.8	3.2	4.8	17.4	16	36.5	7537.8
1 x 26	71.0	69.5	246.0	142.2	0.3	0.3	2.9	4.8	17.5	16	34.5	7204.5
1 x 27	71.3	70.0	244.2	138.6	0.3	1.0	2.8	4.7	17.2	15	34.5	6897.8
1 x 28	73.3	72.0	242.0	143.2	0.0	0.0	2.5	5.0	18.2	17	36.5	5946.7
2 x 24	73.0	71.5	247.1	150.8	0.0	0.0	3.5	4.8	17.8	16	38.3	7951.1
2 x 26	73.0	71.5	243.1	149.3	0.0	0.0	2.6	4.8	15.9	16	37.3	6720.0
2 x 27	72.3	70.8	249.6	148.4	0.5	0.0	3.0	4.9	18.0	14	37.3	7440.0
2 x 28	71.3	69.8	250.5	150.1	0.3	0.3	3.1	5.1	17.6	17	37.8	7524.4

8 x24	69.5	68.5	233.9	135.6	0.0	0.5	2.7	4.7	16.2	17	35.0	7133.3
8 x26	69.3	67.3	252.3	152.5	0.5	0.3	3.0	4.7	17.3	17	36.5	7897.8
8 x27	72.5	71.5	244.2	137.6	0.0	0.0	3.0	4.9	18.2	16	37.8	6960.0
8 x 28	71.0	69.5	246.2	150.0	0.3	0.0	2.8	4.5	17.3	18	38.0	7280.0
14 x 24	70.5	68.5	276.7	165.1	0.3	0.3	3.3	4.5	17.2	16	41.0	8408.9
14 x26	67.5	65.8	265.4	162.8	0.8	0.5	3.7	4.9	18.7	16	37.0	9031.1
14 x 27	66.8	64.5	263.3	162.7	0.8	0.3	2.8	5.0	17.6	16	36.3	7106.7
14 x 28	67.5	65.3	259.0	152.2	0.3	0.3	2.8	4.6	17.5	15	36.3	7457.8
Media	66.6	65.1	236.3	140.1	0.27	0.28	2.82	4.52	16.5	15.2	34.8	7011.2
DMS(5%)	0.62	0.65	2.21	2.41	0.22	0.20	0.24	0.11	0.40	0.56	1.01	693.34

FF= floración femenina, FM= floración masculina, IF= intervalo de floración, AP= altura de planta, AM= altura de mazorca, ACR= acame de raíz, ACT= acame de tallo, PMz= peso de mazorca, DMz= diámetro de mazorca, LMz= longitud de mazorca, NH= número de hileras, NGH= número de granos por hilera, RG= rendimiento de grano.

4.2 Efectos genéticos

4.2.1 Aptitud combinatoria general (ACG)

Los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) para machos y hembras se presentan en el cuadro 4.6. Se muestra que los machos presentan un mayor número de valores significativos de ACG que las hembras. Estos valores se concentran en las variables Altura de planta y mazorca, y floración masculina y femenina. El macho1 (M1), muestra cuatro valores significativos, dos positivos para FM y FF, y dos negativos para AP y AM. Lo anterior indica que esta línea en sus cruza aporta días a floración (FM y FF) en contraparte tiende a disminuir la altura. En tanto la línea 14 (M14), es lo contrario para las mismas características.

Respecto a las Hembras, se observan solo dos valores significativos, positivos en la hembra 26 para AP y, negativo para H27 para NH. Los mejores progenitores para formar una población base para mejoramiento por selección, será aquel con mayores efectos de ACG, y viceversa, los peores (Ramírez *et al.*, 2002).

Cuadro4.6 Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) para los progenitores de 12 características agronómicas.

	FF	FM	AP	AM	ACR	ACT	PMz	DMz	LMz	NH	NGH	RG
M1	1.063*	1.219*	-4.88*	-8.23*	-0.13	0.234	-0.13	0.03	0.124	-0.06	-1.39	351.7
M2	1.688*	1.781*	-3.42*	0.96	-0.063	-0.203	0.091	0.113	-0.161	-0.188	0.734	307.2
M8	-0.125	0.094	-6.84*	-4.76*	-0.063	-0.078	-0.121	-0.092	-0.231	0.81*	-0.078	-305.0
M14	-2.63*	-3.09*	15.13*	12.03*	0.25	0.047	0.159	-0.05	0.269	-0.56	0.734	-353.9
H24	0.44	0.47	1.49	-1.34	-0.19	0.11	0.20	-0.09	-0.33	0.06	0.8	-509.0
H26	-0.5	-0.59	0.7	3.00*	0.13	-0.02	0.05	0.03	-0.14	0.19	-0.58	2.8
H27	0.0	0.094	-0.66	-1.86	0.125	0.047	-0.08	0.068	0.264	-0.81*	-0.45	-88.3
H28	0.063	0.031	-1.538	0.196	-0.063	-0.141	-0.174	-0.005	0.204	0.563	0.234	595.0
DMS	0.88	0.93	3.13	3.40	0.32	0.28	0.34	0.16	0.57	0.79	1.43	979.8

F= floración femenina, FM= floración masculina, AP= altura de planta, AM= altura de mazorca, ACR= acame de raíz, ACT= acame de tallo, NMP= número de mazorcas por planta, PMz= peso de mazorca, DMz= diámetro de mazorca, LMz= longitud de mazorca, NH= número de hileras, NGH= número de granos por hilera, RG= rendimiento de grano.

4.2.2 Aptitud combinatoria específica (ACE)

Los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de las 16 cruzas y 12 variables se presentan en el cuadro 4.7. Respecto a Rendimiento de grano(RG), se observa que las cruzas 14x24 y 14x26 registran los valores positivos y significativos de ACE, el resto con excepción de la cruz **2x26**, el resto de las cruzas fueron no-significativos.

En el caso de la cruce **14x24**, ambos progenitores presentaron ACG negativas, contrario a lo esperado. Al respecto, se espera que las cruces con mayor ACE resulten de cruzar al menos un progenitor con alta ACG (Reyes *et al.*, 2004). Sin embargo, en el presente trabajo se encontró que progenitores con efectos bajos o negativos de ACG produjeron cruces con alto rendimiento de grano, como 14x24 y 14x26. Cruces similares fueron obtenidas por **Guillen-De la Cruz *et al.*** (2009) y De la Cruz *et al.* (2010) al cruzar progenitores con ACG negativa y obtener cruces con valores positivos de ACE.

4.2.3 Parámetros genéticos.

En el cuadro 4.8, se presenta la estimación de los parámetros genéticos para las 12 variables cuantificadas en los 16 híbridos experimentales. La varianza del tipo aditivo, fue de mayor importancia para las características agronómicas FM, FF, AP y AM, además de las variables de mazorca NH, NGH y el Rendimiento de grano (RG). La Altura de planta (AP) y mazorca (AM) además del RG, la Varianza aditiva fue del 100%, ante la ausencia de los efectos no-aditivos. En contraste, los efectos de dominancia (no-aditivos), fueron de baja magnitud en las variables FM, FF, NH y NGH, con valores de 62.2%, 58.8%, 57.37% y 29.11% respectivamente.

Estos resultados se reflejan en la magnitud de la heredabilidad tanto en sentido amplio (H) como en sentido estrecho (h). Las variables FM, FF, AP y AM muestran valores cercanos al 100 considerados altos para H^2 ; las variables ACT, LMz, NH, y NGH presentan valores medios, y el resto se consideran valores bajos, entre los cuales se encuentra el RG. La heredabilidad en sentido estrecho (h^2), fue de

menor magnitud que la H^2 . Respecto al Grado promedio de dominancia(D), solo se observó en FM, FF, NMP, NH y NGH, por lo que estas variables pueden ser aprovechadas en un programa de hibridación, pues además son componentes del rendimiento (**Robinson y Moll,1965**)

.

Cuadro 4.7 Efectos de Aptitud Combinatoria Específica (**ACE**) de 16 cruzas evaluadas en los ciclos primavera y verano.

Cruza	FF	FM	AP	AM	ACR	ACT	PMz	DMz	LMz	NH	NGH	RG
1 x 24	-0.71	-1.001	4.61*	-1.291	0.045	0.173	0.15	0.066	0.13	-0.13	0.18	288.9
1 x 26	-0.27	-0.241	-0.85	-1.301	0.025	-0.198	-0.00	-0.05	0.05	-0.26	-0.44	-556.1
1 x 27	-0.47	-0.425	-1.29	0.029	0.035	0.44*	0.03	-0.18	-0.66*	-0.25	-0.57	-771.7
1 x 28	1.468*	1.638*	-2.59	2.559	-0.09	-0.38*	-0.18	0.181*	0.41	0.38	0.75	-241.0
2 x 24	0.166	0.137	-2.03	2.529	-0.03	-0.198	0.23	-0.01	0.82*	-0.00	-0.14	746.78
2 x 26	1.106*	1.197*	-5.19*	-3.381	-0.35*	-0.068	-0.52*	-0.13	-1.28*	-0.14	0.24	-996.1*
2 x 27	-0.09	-0.188	2.62	0.58*	0.165	-0.128	0.01	-0.06	0.43	-1.14*	0.11	-185.0
2 x 28	-1.16*	-1.13*	4.44*	0.299	0.145	0.353*	0.20	0.201*	0.09	0.50	-0.07	-783.9
8 x 24	-1.52*	-1.17*	-11.8	-6.98*	-0.03	0.173	-0.36*	0.086	-0.72*	0.01	-2.64*	541.18
8 x 26	-0.78	-1.32*	7.38*	5.58*	0.155	0.103	0.09	-0.03	0.20	-0.13	0.24	793.91
8 x 27	1.919*	2.190*	0.69*	-4.46*	-0.34*	-0.258	0.22	0.136	0.70*	-0.13	1.41	-52.82
8 x 28	0.356	0.263	3.58*	5.84*	0.145	-0.078	0.11	-0.20	-0.14	0.51	0.93	-416.1
14 x 24	1.979*	2.01*	8.93*	5.75*	-0.04	-0.138	-0.03	-0.15	-0.21	0.38	2.56*	1865.7*
14 x 26	-0.08	0.372	-1.63	-0.911	0.145	0.193	0.52*	0.126	1.11*	0.25	-0.06	1976.1*
14 x 27	-1.28*	-1.61*	-2.32	3.85*	0.155	-0.068	-0.25	0.196*	-0.4	1.25*	-0.89	142.78
14 x 28	-0.64	-0.75	-5.77*	-8.68*	-0.17	0.113	-0.16	-0.14	-0.43	-1.13*	-1.57*	-189.4
DMS	0.88	0.93	3.13	3.40	0.32	0.28	0.34	0.16	0.57	0.79	1.43	979.8

FF= floración femenina, FM= floración masculina, AP= altura de planta, AM= altura de mazorca, ACR= acame de raíz, ACT= acame de tallo, PMz= peso de mazorca, DMz= diámetro de mazorca, LMz= longitud de mazorca, NH= número de hileras, NGH= número de granos por hilera, RG= rendimiento de grano.

Cuadro 4.8 Parámetros genéticos de 13 variables agronómicas cuantificadas en 16 híbridos experimentales.

Variable	σ^2a	σ_2d	σ_2G	% Adit	σ_2F	H²	h²	D
FF	10.6	7.4	18.1	58.8	18.1	96.3	56.6	1.2
FM	14.0	8.5	22.5	62.2	22.5	86.5	53.8	1.1
AP	385.5	0.0	385.5	100.0	385.5	98.6	98.6	0.0
AM	295.2	0.0	295.2	100.0	295.2	95.0	95.0	0.0
ACR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ACT	0.00	0.15	0.15	0.00	0.2	67.4	0.0	0.0
NMP	0.00	0.02	0.02	11.11	0.0	17.6	2.0	4.0
DMz	0.00	0.01	0.01	0.00	0.0	30.8	0.0	0.0
LMz	0.00	1.16	1.16	0.00	1.2	79.7	0.0	0.0
NH	1.09	0.81	1.90	57.37	1.9	76.8	44.1	1.2
NGH	1.54	3.75	5.29	29.11	5.3	74.0	21.6	2.2
RG	209583.2	0.00	209583.2	100.00	209583.2	19.4	19.4	0.0

FF= floración femenina, FM= floración masculina, AP= altura de planta, AM= altura de mazorca, ACR= acame de raíz, ACT= acame de tallo, PMz= peso de mazorca, DMz= diámetro de mazorca, LMz= longitud de mazorca, NH= número de hileras, NGH= número de granos por hilera, RG= rendimiento de grano, σ^2a = varianza aditiva, σ_2d = varianza de dominancia, σ_2G = varianza genética, % Adit= porcentaje de aditividad, σ_2F = varianza fenotípica, H²= heredabilidad en sentido amplio, h²= heredabilidad en sentido estrecho, D= dominancia.

V. CONCLUSIONES

1. Las hembras presentaron alta variabilidad con respecto a los machos lo que ayudó a obtener híbridos con buen rendimiento y desarrollo fisiológico. La línea 14 al cruzarse con las demás origino las cruzas con mayor rendimiento.
2. La línea 14 y 26 presentaron los valores de rendimiento más altos, de igual manera su cruza mostro ser la de mejor calidad agronómica.
3. Las cruzas derivadas de materiales de diferente programa de mejoramiento fueron las que mejor se adaptaron al ambiente y obtuvieron los valores más altos de rendimiento. Aquellas del mismo programa fueron las de los valores mínimos.
4. Los híbridos que se adaptaron mejor a ambos ambientes (primavera – verano) fueron los de mayor rendimiento y comportamiento agronómico.

VI. BIBLIOGRAFIA

- De La Rosa L, A., H De León C, F Rincón S y G Martínez Z (2006).** Híbridos Comerciales de maíz adaptados a el bajío mexicano. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 29 (3): 247 – 254.
- Allard R. W. 1980.** Principios de la mejora genética de las plantas. Cuarta edición. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. p. 98.
- Allard, R.W. 1980.** Principios de la Mejora Genética de la Plantas. Editorial EOSA. España. 498 p.
- Antuna-Grijalva O, Bustamante-García L, Gutiérrez-Del Río E, Rincón-Sánchez F, Ruiz-Torres NA, 2003.** Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas de líneas de maíz. Rev. Fitotec. Méx. 26(1): 11-17.
- Brauer H O (1981)** Fitogenética Aplicada. ELSA. Primera impresión.México.
- Chávez A., J.L. Y Lopez E. 1995.** Mejoramiento de Plantas 1. UAAAN. México.158 p.
- chromosomes. *Chromosoma*.
- 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 degrees of dominance. Biometrics. 4:254-266.
- Córdova, H.S.,y S.K. Vasal, 1996.** Estrategias en el desarrollo y mejoramiento del germoplasma del maíz orientado a la agricultura sustentable.Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 252 p.

- Cress, C. E. 1956.** Heterosis of the hybrid to gene frequency differences between two population. *Genetics* 53: 269-274.
- De la Cruz-Lazaro E, G Castanon-Najera, NP Brito-Manzano A Gomez-Vazquez, V Robledo-Torres, AJ Lozano del Rio. 2010.** Heterosis y aptitud combinatoria de poblaciones de maíz tropical. *FYTON*, 79: 11-17.
- De la Loma J.L. 1975.** *Genética general y aplicada*. Editorial UTEHA. México.
- Brauer H.O. 1981.** *Fitogenetica aplicada*. Editorial ELSA. México. P. 518.
- De la Loma, J. L. 1954.** *Genética General Aplicada*. Segunda edición. Editorial UTEHA. México. 427 p.
- Dudley, J.W. and R.H. Moll. 1969.** Interpretation and use of estimates of heritability and genetic variances in plant breeding. *Crop Science* 257 – 262 p.
- Fuentes M.L., J.L. Larios, C. Queme, Pérez y S. Castellanos. 1997.** Evaluación regional de cruzas híbridas y predicción de híbridos de maíz de grano blanco. CIMMYT-PRM. Guatemala. P. 32.
- Gaspar Martínez Zambrano, José Roberto Augusto Dorantes, 2005.** Efectos genéticos y heterosis en la vida de anaquel del chile serrano. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 28 (4): 327 – 332.
- Guillen-De la Cruz P, de la Cruz-Lazaro E, Castanon-Najera G, Osorio-Osorio R, Brito-Manzano N P, Lozano-del Rio J y Lopez-Noverola U (2009).** Aptitud combinatoria general y específica de germoplasma tropical de maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 101-107.

González, M R M, A De La Rosa L y O Pozo C (2006). Rev. Fitotec. Mex. Vol. 29 (3): 247 – 254.

Griffing, B. 1956. Concept of General and Specific combining ability in relation in diallelic crossing system. Aust. Jour. Boil. Sci. 9: 463 – 491.

Hallauer R.A., and Miranda FO. 1981. Quantitative Genetics in Maize Breeding. The Iowa State University Press Ames, Iowa, 50010. First Edition. P. 468.

Juárez E.R. 1977. Interacción genotipo-medio ambiente en la selección y recomendación de híbridos de sorgo para grano. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. E.N.A. Chapingo, México. P. 120

Kempthorne,O. (1957)"An Introduction to Genetic Statistics." (John Wiley and Sons, Inc.:New York.)

Livera M.M 1992. Micrometeorología aplicada al fitomejoramiento: su enseñanza en el C.P. XIV Congreso Nacional de Fitogenética. Tuxtla Gutiérrez, Chis. P. 50.

Márquez S F(1992) La interacción genético - ambiental en genotecnia vegetal. *In:* Memorias Simposio Interacción Genotipo – Ambiente en Genotecnia Vegetal. Guadalajara, Jal., México.

Márquez, S F (2000)De las variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) a los híbridos transgénicos. I: Recolección de germoplasma y variedades mejoradas.

Márquez, S., F. 1988. Genotecnia vegetal. Tomo II AGTESA. México. 593p.

Martínez G A (1983) Diseño y Análisis de Experimentos de Cruzas Dialélicas.

- Martínez, G A (2005)** Producción de semilla híbrida de maíz con líneas androfértiles y androesteriles isogénicas y su respuesta a la fertilización y densidad de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 28 (2): 127 -133.
- Martínez, G.A. 1983.** Diseños y análisis de experimentos de cruza dialélicas. Segunda edición. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. P. 252.
- Matzinger, D.F. 1963.** Experimental estimates of genetics parameters and their applications in self-fertilizing plants. In W.D. Hanso and H.F. Robinson (eds). *Statistical genetics and plant breeding*. Nas-Nrc. No. 982.
- Núñez H G y R Faz C. 2002.** (Producción y selección del maíz forrajero en la comarca lagunera. SAGARPA – INIFAP. Campo Experimental la Laguna.
- Peña RA, Núñez HG, González CF, 2003.** Importancia de la planta y el elote en poblaciones de maíz para el mejoramiento genético de la calidad forrajera. *Téc. Pecu. Méx.* 41(1): 63-74.
- Poehlman, M.J. 1983.** Mejoramiento genético de las cosechas. Primera edición. Editorial. LIMUSA. México. P. 423.
- Reyes, L.D., J.D. Molina G., M.A. Oropeza R. y E. del C. Moreno P. (2004).** Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27: 49- 56.
- Robinson H F and R H Moll. 1965.** Procedimientos útiles para mejorar el comportamiento de híbridos intervarietales. *Fitotecnia Latinoamericana*. I: 38-55.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2009)** Anuario Estadístico de la Producción Agrícola a Nivel

Estatal, Distrital y Municipal de la región laguna 2006. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Silva S. R., 1999. Heredabilidad y correlaciones fenotípicas en líneas avanzadas de trigo. XVII Congreso Nacional SOMEFI. Sociedad Mexicana de Fitogenética 2002. 246 p.

Singh L, Purdom IF and Jones KW 1976. Satellite DNA and evolution of sex

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

Vasal S K, 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, Coah.

Wong-Romero R, Gutiérrez-Del Río E, Rodríguez-Herrera S, Palomo-Gil A, Córdoba-Orellana H, Espinoza- Banda A. 2006. Aptitud combinatoria y parámetros genéticos de maíz para forraje en La Comarca Lagunera. Universidad y Ciencia 22 (2):141-151.