

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**ESTIMACIÓN DE APTITUD COMBINATORIA GENERAL Y ESPECÍFICA EN
LÍNEAS AVANZADAS DE MAÍZ**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

FRANCISCO JAVIER AYALA MORENO

Marín, N.L.

Diciembre de 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**ESTIMACIÓN DE APTITUD COMBINATORIA GENERAL Y ESPECÍFICA EN
LÍNEAS AVANZADAS DE MAÍZ**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

FRANCISCO JAVIER AYALA MORENO

Marín, N.L.

Diciembre de 2014

**ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL
COMITÉ PARTICULAR COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

COMITÉ PARTICULAR

**Ph. D. Francisco Zavala García
Asesor Principal**

**Dr. Cs. José Elías Treviño Ramírez
Asesor Auxiliar**

**M.C. Jesús Andrés Pedroza Flores
Asesor Auxiliar**

**Dr. Ernesto Javier Sánchez Alejo
Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación**

DEDICATORIA

A Dios, creador de todas las cosas, por permitirme
concluir mis estudios profesionales.

A mis padres José Ayala Rodríguez, Antonia Moreno de Ayala y hermanos
Víctor Manuel Ayala Moreno, María Josefina Ayala Moreno por su incondicional
apoyo durante
esta etapa de mi vida.

A mis abuelitos Leonor Sánchez Ayala, Agapito Moreno, Ramona y Raymundo
Ayala por su ejemplo de honestidad y trabajo.

A mis compañeros de generación y maestros por todos los
momentos vividos en el aula de clase.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a los Dr. Francisco Zavala García, José Elías Treviño Ramírez y al M.C. Jesús Pedroza Flores por formar parte del Comité de Tesis, así como por sus valiosas sugerencias de interés, en la revisión del presente trabajo.

También al M.C. Héctor Williams Alanís por compartir sus experiencias de trabajo y consejos.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS	ix
INDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Generalidades del maíz	4
2.1.1 Origen del maíz.....	4
2.1.2 Usos del cultivo de maíz	4
2.1.3 Importancia económica y nutricional del maíz en el mundo.....	6
2.1.4 Importancia de la producción de maíz en México.....	8
2.2 Diversidad genética del maíz	9
2.2.1 Diversidad y conservación de recursos fitogenéticos	9
2.2.2 Diversidad de las razas de maíz	10
2.2.3 Clasificación y razas de maíz.....	11
2.3 Tipos de variedades de maíz	14
2.3.1 Variedad o cultivar	14
2.3.2 Variedad criolla	15

2.3.3 Variedad sintética	16
2.3.4 Líneas endogámicas.....	16
2.3.5 Maíz híbrido	17
2.3.6 Tipos de maíz híbrido	17
2.3.7 Rendimiento del maíz híbrido	18
2.4 Heterosis en el cultivo de maíz	19
2. 4.1 Heterosis en el rendimiento de grano de maíz.....	20
2.4.2 Incremento en el rendimiento de grano del maíz	21
2.4.3 Aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica	21
2.5 Dialelico y el método Griffing.....	22
3. MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1 Descripción del lugar.....	25
3.1.1 Ubicación del campo experimental	25
3.2 Material experimental.....	25
3.2.1 Líneas S ₃ de la Facultad de Agronomía de la UANL.....	25
3.2.2 Autopolinización de líneas S ₃ para formar líneas S ₄	26
3.2.3 Formación del Dialelico.....	28
3.3 Evaluación de los híbridos experimentales en el ciclo Otoño-Invierno 2013....	30
3.3.1 Diseño experimental	31
3.3.2 Estimación de ACG y ACE	31

3.3.3 Manejo del cultivo	33
3.4 Variables de estudio.....	33
3.5 Análisis estadístico.....	35
4. RESULTADOS Y DISUSIÓN	36
4.1 Análisis de varianza para las variables agronómicas	36
4.1.2 Comparación de medias para las variables agronómicas.....	37
4.2 Análisis de varianza para estimar la ACG y ACE	44
4.2.1 ACG y ACE para altura de planta	45
4.2.2 ACG y ACE para altura a la mazorca	46
4.2.3 ACG y ACE para días a floración masculina	47
4.2.4 ACG y ACE para días a floración femenina.....	48
4.2.5 ACG y ACE para rendimiento	49
5. CONCLUSIONES	51
6. BIBLIOGRAFÍA.....	52

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Algunas de las razas nativas de México y algunos de sus usos.....	12
2	Líneas S3 con que cuenta la Facultad de Agronomía de la Universidad de Nuevo León.....	26
3	Híbridos experimentales de maíz de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León evaluados en el ciclo primavera-verano 2013.....	32
4	Cuadros medios del análisis de varianza para altura de planta, altura a la mazorca, días a floración masculina, días a floración femenina y rendimiento de grano.....	37
5	Comparación de medias para altura de planta y altura a la mazorca.....	39
6	Comparación de medias para días a floración masculina y femenina.....	42
7	Comparación de medias para el rendimiento en ton ha ⁻¹ ...	44
8	Cuadros medios de los análisis de varianza para altura de planta, altura a la mazorca, floración masculina y floración femenina con el método IV de Griffing de efectos fijos.....	45
9	Efectos de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica para altura de la planta.....	46

10	Efectos de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica para altura a la mazorca.....	47
11	Efectos de aptitud combinatoria general y específica para la floración masculina.....	48
12	Efectos de aptitud combinatoria general y específica para la floración femenina.....	49
13	Valores de la aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica para rendimiento ha ⁻¹	50

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Trilladora cosechando maíz. Las mazorcas sin granos representan el 17% del rastrojo del maíz (Varvel y Wilhelm, 2008)	5
2	Producción global de los tres cereales más importantes del mundo: maíz, arroz y trigo. Se alcanza a observar que en el año 1989 el cereal con mayor producción a nivel mundial era el trigo, después el arroz y por último el maíz pero hoy en día (2003-2009), el cereal más importante del mundo es el maíz, seguido por el arroz y en tercer lugar por el trigo.....	7
3	Muestra de la variabilidad fenotípica entre las razas latinoamericanas de maíz. Cada mazorca representa una raza con características fenotípicas diferentes.....	11
4	Mazorcas de maíz Jala producidas por agricultores del Estado de Nayarit, México. (A), mazorcas experimentales (B).....	13
5	Manifestación fenotípica de la heterosis. (a) La heterosis se detecta normalmente en los rasgos de adultos, tales como el rendimiento o el tamaño de la mazorca. (b) La heterosis ya se manifiesta durante las plántulas en desarrollo.....	20
6	Tabla de doble entrada en un dialelico.....	23

7	<p>a) Flor masculina cubierta para la colecta de polen. b) Flor femenina protegida con bolsa trasparente permitiendo ver la inflorescencia c) Inflorescencia lista para recibir polen de la misma planta. d) Protección y etiquetado.....</p>	27
8	<p>Dialelico con siete líneas y 21 cruzas simples y 21 cruzas recíprocas. Progenitores: PA24 = Pinto amarillo población 24, PA44 = Pinto amarillo población 44, PA48 = Pinto amarillo población 48, PA50 = Pinto amarillo población 50, PA1 = Pinto amarillo población 1, L61 = Liebre población 61, BH = Blanco Hualahuises.....</p>	30

RESUMEN

La formación de líneas endogámicas de maíz es una de las herramientas necesarias para la formación de híbridos. Una vez formados los híbridos de maíz estos son evaluados para determinar su rendimiento u otra característica de interés. La aptitud combinatoria general (ACG) es necesaria para estimar el comportamiento promedio de las líneas con que fueron formados los híbridos y la aptitud combinatoria específica (ACE) sirve para identificar cruzamientos específicos con mayores expresiones del carácter de interés.

El objetivo del estudio fue estimar la aptitud combinatoria general y específica de las líneas de maíz utilizadas para la formación de los híbridos experimentales con mayor potencial de rendimiento utilizando como fuente de las líneas de diferentes poblaciones criollas de maíz (*Zea mays*) del Norte de Nuevo León.

Se llevó a cabo la autofecundación de líneas S_3 provenientes de poblaciones criollas de maíz del norte de Nuevo León, las cuales fueron Pinto Amarillo 24, Pinto Amarillo 44, Pinto Amarillo 48, Pinto Amarillo 50, Pinto Amarillo 1, Liebre 61 y Blanco Hualahuises su-98. Las líneas S_3 se autofecundaron en el ciclo otoño - invierno 2012 para avanzar los materiales genéticos a la generación S_4 . Estas líneas pertenecen al programa de

mejoramiento de maíz y se encuentran resguardadas en Banco de Germoplasma de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Después de avanzar las líneas S_3 a S_4 en el ciclo otoño - invierno 2012 se sembraron las líneas S_4 en el ciclo primavera – verano 2013 para formar las cruzas posibles, es decir los híbridos experimentales entre las diferentes líneas endogámicas los cuales se evaluaron en el ciclo otoño - invierno 2013.

El análisis de varianza para la estimación de la aptitud combinatoria general y específica mostró diferencias significativas en las variables altura de planta y altura a la mazorca, de igual forma para las variables de floración femenina y floración masculina. La comparación de medias se realizó para altura de planta, altura a la mazorca, floración masculina, floración femenina y rendimiento.

De este estudio se desprende la identificación de líneas con buena ACG que puede utilizarse como un criterio para la selección de progenitores en el proceso de formación de híbridos sobresalientes. Por ejemplo en las variables de floración masculina y femenina las líneas que presentaron mayor efecto de ACG fueron Pinto Amarillo 48, Liebre 61, Pinto Amarillo 24 y Pinto Amarillo 50 donde Pinto Amarillo 48 presentó la mayor ACG con 2.5071 en floración masculina y 1.3357 en floración femenina, en el caso de rendimiento las líneas con mayor ACG fueron Pinto Amarillo 1, Pinto Amarillo 50, Pinto

Amarillo 44, Pinto Amarillo 24 y Liebre 61, siendo la más alta Pinto Amarillo 1 con 0.1801.

De igual forma con la estimación de la ACE de las cruzas se puede identificar las mejores cruzas entre progenitores de las cuales fueron en la floración masculina Pinto Amarillo 24 x Blanco Hualahuisés su-98, Pinto Amarillo 1 x Liebre 61 y Pinto Amarillo 50 x Blanco Hualahuisés su-98, la craza con mayor ACE para esta variable fue Pinto Amarillo 24 x Blanco Hualahuisés con un valor de 2.8333; en floración femenina las cruzas con ACE más alta fueron Pinto Amarillo 1 x Blanco Hualahuisés su-98, Pinto Amarillo 24 x Pinto Amarillo 50 y Pinto Amarillo 44 x Pinto Amarillo 48, el mayor valor el cual fue 2.4500 le correspondió a esta última craza. En el rendimiento la ACE más alta fue para las cruzas Pinto Amarillo 44 x Liebre 61, Pinto Amarillo 24 x Pinto Amarillo 1 y Pinto Amarillo 48 x Pinto Amarillo 1 con un valor de 0.5849 siendo superior a las demás cruzas.

ABSTRACT

The formation of maize lines is one of the tools necessary for the formation of hybrids. Once formed these corn hybrids are evaluated for performance or other characteristics of interest. The general combining ability (GCA) is required to estimate the average behavior of the lines that were formed hybrids and specific combining ability (SCA) is used to identify specific crosses with higher expression of the character of interest.

The aim of the study was to estimate general and specific combining ability of maize lines used for the formation of experimental hybrids with higher yield potential using as source lines of different native populations of maize (*Zea mays*) in northern Nuevo León.

Was performed selfing S_3 from native maize populations in northern Nuevo Leon lines, which were Pinto Amarillo 24, Pinto Amarillo 44, Pinto Amarillo 48, Pinto Amarillo 50, Pinto Amarillo 1, Liebre 61 and Blanco Hualahuises su -98. The S_3 lines were selfed in the cycle autumn - winter 2012 to advance genetic material S_4 generation. These lines belong to the maize breeding program and are protected in the Germplasm Bank of the Faculty of Agronomy of the Universidad Autónoma de Nuevo León.

After advancing the S_3 lines to S_4 in the autumn - winter 2012. The lines S_4 were planted in the cycle spring - summer 2013 to form the possible

crosses, in the experimental hybrids between different inbred lines which were evaluated in the cycle fall - winter 2013.

Analysis of variance for estimation of general and specific combining ability showed significant differences in plant height and ear height, similarly for the variables of silking and tasseling. Comparison of means was performed for plant height, ear height, tasseling, silking and yield.

In this study the identification of lines with good ACG that can be used as a criterion for the selection of parents in the process of forming hybrid shows outstanding. For example in the variables of male and female flowering the lines showed higher GCA effects were Pinto Amarillo 48, Liebre 61, Pinto Amarillo 24 y Pinto Amarillo 50, where Pinto Amarillo 48 had the highest GCA 2.5071 and 1.3357 in male flowering feminine flowering performance if more ACG lines were Pinto Amarillo 1 Pinto Amarillo 50, Pinto Amarillo 44, Pinto Amarillo 24 and Liebre 61, being the highest Pinto Amarillo 1 with 0.1801.

Similarly to the estimation of the ACE crosses can identify the best crosses between parents of which were in the male flowering Pinto Amarillo 24 x Blanco Hualahuises su-98, Pinto Amarillo 1 x Liebre 61 and Pinto Amarillo 50 x Blanco Hualahuises su-98, crossing more ACE for this variable was Pinto Amarillo 24 x Blanco Hualahuises with 2.8333; female flowering in crosses with higher ACE were Pinto Amarillo 1 x Blanco Hualahuises su-98, Pinto Amarillo 24 x Pinto Amarillo 50 and Pinto Amarillo 44 x Pinto Amarillo 48, the highest

value was 2.4500 which corresponded to the latter crosses. The yield was the highest ACE for the crosses Pinto Amarillo 44 x Liebre 61, Pinto Amarillo 24 x Pinto Amarillo 1 and Pinto Amarillo 48 x Pinto Amarillo 1 with a value of 0.5849 being superior to the other crosses.

1. INTRODUCCIÓN

El maíz es un alimento básico para los humanos en los países en vías de desarrollo y es el grano de cereal más utilizado en la alimentación animal. Es un importante recurso dietético debido a sus propiedades nutrimentales de energía, proteína, vitaminas, minerales y lípidos (Preciado-Ortiz *et al.*, 2013). En México, el maíz es el cereal de mayor consumo, esto se puede realizar en forma directa o indirecta por medio de procesos para elaborar diferentes productos como tortillas, totopos, tamales, pozole entre otros (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2011).

La producción en grano de maíz ha cambiado desde la introducción de los híbridos, primero en USA después en el resto del mundo; actualmente existe una tendencia creciente en su explotación por la diversificación en su uso, ya que se pueden utilizar para consumo humano, pecuario, así como también en la industria para la producción de aceites y etanol por mencionar algunos (D' Andrea *et al.*, 2009).

En México, se siembran distintos tipos de variedades de maíz, algunas son sintéticas mientras que otras híbridas o criollas. De las variedades criollas se pueden formar híbridos que suelen resultar con incremento en el nivel de heterosis o vigor híbrido cuando las variedades provienen de diferentes poblaciones (Ng *et al.*, 2012).

La siembra promedio de maíz en México es de ocho millones de hectáreas, 85% en condiciones de temporal con un rendimiento promedio de 2.16 t ha^{-1} . De esta producción se consumen 13 millones de toneladas en tortilla, teniéndose autosuficiencia en maíz blanco; sin embargo, en el 2010 se importaron ocho millones de toneladas de maíz amarillo (INIFAP, 2011).

En el estado de Nuevo León se siembran distintas variedades criollas, de las cuales algunas de ellas han sido colectadas por la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León con distintos propósitos (Rodríguez-Pérez *et al.*, 2012). Dos casos particulares con adaptación a la zona son las variedades Pinto Amarillo y Liebre, las cuales han manifestado a través de su distribución en el estado de Nuevo León, ser de las mejores de la región. Estos genotipos se pueden utilizar para la formación de híbridos que aprovechan la heterosis o vigor híbrido que es una parte fundamental para la producción de grano de los híbridos (Munaro *et al.*, 2011). Los híbridos frecuentemente se desempeñan mejor que sus progenitores y es esto a lo que se conoce como heterosis, la cual puede cuantificarse a través de un incremento en la producción, desarrollo rápido o resistencia a insectos.

Otro importante aspecto a considerar en la formación de los híbridos es la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) que se estima en la evaluación de líneas endogámicas durante el proceso de formación de los híbridos (Run *et al.*, 2013). Estas estimaciones nos permiten hacer una selección de las mejores líneas

para someterlas al programa de cruzamiento en busca de los mejores híbridos. El análisis de agrupar variedades cultivadas o líneas endogámicas es un importante método para estudiar las relaciones genéticas del germoplasma (Cheng-lai *et al.*, 2010).

Debido a la importancia que representa la heterosis en los híbridos de maíz, en el presente trabajo se plantea la siguiente hipótesis:

Las líneas S_4 de maíz formadas en la Facultad de Agronomía de la UANL pueden presentar ACG con efectos positivos y sus cruzas ACE con efectos positivos para la formación de híbridos.

El objetivo que se estableció fue estimar los efectos de ACG de las siete líneas S_4 y los efectos ACE de los 21 híbridos formados en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, con el propósito de identificar las mejores líneas para utilizarse como progenitores en la formación de híbridos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del maíz

2.1.1. Origen del maíz

México es el centro de origen del maíz ya que tres evidencias lo demuestran: 1) Los restos arqueológicos del maíz más antiguo hasta el momento se encuentran en territorio nacional, 2) El teosinte, que es el posible ancestro del maíz; se encuentra en México de forma natural y 3) La mayor diversidad genética del maíz está representada por las variedades criollas de México. Otro dato importante es la domesticación del maíz que fue en el río Balsas hace unos 6,000 años (Vielle, 2007). Una vez que se obtuvo la domesticación del maíz en el sur de México, se extendió por el continente americano hace unos 5,000-10,000 años aproximadamente (Matsuoka *et al.*, citados por Sood *et al.*, 2014).

2.1.2. Usos del cultivo de maíz

Es uno de los cultivos más importantes en el mundo y su demanda en producción es creciente en los últimos años ya que se ha utilizado ampliamente para alimento al ganado o como una nueva fuente de bioenergía. Estudios han sugerido que la aplicación de los híbridos, especialmente híbridos simples conduce a aumentar de manera espectacular del rendimiento de los cultivos (Qi *et al.*, 2013).

El residuo de la cosecha de maíz (*Zea mays*) es decir el rastrojo y la mazorca sin granos (olote) es la materia prima de la planta y puede utilizarse como una fuente barata de biomasa. Los residuos de los cultivos son una fuente de carbono orgánico del suelo (COS) y esta fuente es indispensable para mantener la productividad del suelo.

El olote como residuo de maíz, es materia prima que puede utilizarse para producción de etanol (<http://www.projectliberty.com/>, <http://www.cvec.com/>). Una ventaja al utilizar la mazorca como materia prima y fuente de biomasa es que entra en la cosechadora (Figura 1), y requiere sólo unas pequeñas modificaciones para su cosecha. Con una sola pasada la cosechadora puede llegar a recoger el 30% del rastrojo cuando se utiliza un equipo con una cabeza de mazorca-pargo.



Figura 1. Trilladora cosechando maíz. Las mazorcas sin granos representan el 17% del rastrojo del maíz (Varvel y Wilhelm, 2008).

2.1.3. Importancia económica y nutricional del maíz en el mundo

El maíz (*Zea mays*) es un cultivo básico no solo en México y Centroamérica sino que en distintas partes del mundo como por ejemplo en el Sur de América y en parte de Asia. En el sur de África es el principal alimento donde se llegan a cultivar más de 12 millones de hectáreas (Bañziger *et al.*, 2006).

Los datos a mediados de la década de 1990 indican que sólo el 47% de la superficie de maíz en los países en desarrollo se plantaba con variedades mejoradas de maíz. Son siete los principales países productores de maíz en el mundo en desarrollo que están sembrando principalmente variedades mejoradas es decir, un millón de hectáreas de maíz donde más del 50% se cultiva con semilla mejorada de maíz, estos países son Argentina, Brasil, China, Kenia, Sudáfrica, Tailandia y Zimbabue (CIMMYT, citado por Smith *et al.*, 2001).

La producción de maíz, trigo y arroz ha cambiado a partir del año 2000. En la Figura 2 puede observarse como la producción de maíz a nivel mundial se encuentra en primer lugar con una producción de aproximadamente 800 millones de toneladas mientras que el arroz tiene 650 millones de toneladas aproximadamente y el trigo casi los 600 millones de toneladas.

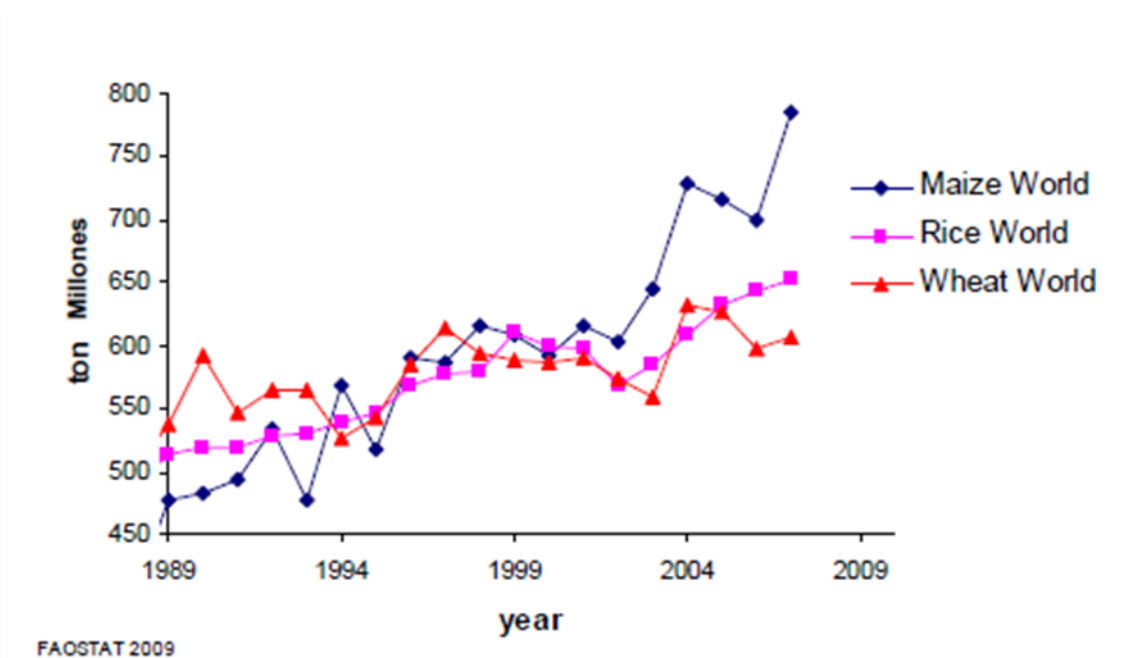


Figura 2. Producción global de los tres cereales más importantes del mundo: maíz, arroz y trigo. Se alcanza a observar que en el año 1989 el cereal con mayor producción a nivel mundial era el trigo, después el arroz y por último el maíz pero hoy en día (2003-2009), el cereal más importante del mundo es el maíz, seguido por el arroz y en tercer lugar por el trigo.

El hecho de que el maíz haya quedado en primer lugar en producción en los últimos 20 años, se debe al éxito en el mejoramiento genético del maíz, principalmente por el aprovechamiento del fenómeno de la heterosis en esta especie. Sin embargo, los incrementos en la productividad han sido variables en diferentes países, en algunos países, el rendimiento se ha incrementado más rápido que en otros (Tiessen, 2012).

2.1.4. Importancia de la producción de maíz en México

En México algunos de los factores ambientales como heladas tempranas, suelos pobres y el uso de variedades criollas utilizadas por los agricultores de las tierras altas no son favorables para una producción alta de maíz. Los productores locales han desarrollado los recursos genéticos de maíz durante varios milenios en diferentes ecosistemas agrícolas de México. Cada año se dan a la tarea de seleccionar las semillas que sirven como recursos genéticos vitales en la agricultura de México y el mundo.

Por su capacidad de diversidad genética, el maíz es uno de los cultivos más importantes en el mundo. Esto también explica porque el maíz puede crecer desde el nivel del mar o hasta 2,000 msnm, en suelos ácidos o en suelos alcalinos, en temporal (con estrés hídrico), en periodos cortos y largos de madurez y la capacidad de soportar diferentes plagas locales (Nadal, 2006).

La producción de maíz en México es de alrededor de 23 millones de toneladas por año y las tierras altas representan el 10% de esta producción. Aproximadamente en 2006 y 2007 el 75 % de la tierra agrícola se plantó con variedades criollas de maíz. Casi la mitad del maíz utilizado en la región se consume en el hogar en el consumo doméstico; la segunda parte se utiliza en la masa y la industria de la tortilla y la tercera parte en la industria de harina de maíz nixtamalizado que tiene una producción total de 806.000 toneladas (Vázquez *et al.*, 2011).

2.2. Diversidad genética del maíz

Las especies autóctonas de maíz presentan una cantidad alta de diversidad genética. Se estima que el maíz posee 59,000 genes (Messing *et al.*, citados por Sood, 2014); en México se encuentra una gran diversidad genética y es donde se domesticó el cultivo del maíz ya que se cultiva en un gran número de variadas condiciones ambientales, es también en México donde se tienen una diversidad de usos para todas las partes de la planta de maíz en especial el grano.

El estudio, conservación y uso de la diversidad del maíz es de interés científico y económico; científico ya que se necesita documentar la variación morfológica y genética así como su relación con el ambiente físico y biótico que lo rodea. En lo económico se refiere a que en México los maíces nativos predominan; estos maíces son la fuente para obtener variedades de híbridos muy productivos y estos pueden proporcionar alimento al país (Hernández y Esquivel, 2004).

2.2.1. Diversidad y conservación de recursos fitogenéticos

Cuando una colección de maíz se va a utilizar como fuente de diversidad genética, esta debe ser bien caracterizada con diferentes grupos bien definidos para una eficiente explotación en los programas de mejoramiento. Las cruces entre líneas genéticamente divergentes por lo regular producen mejores híbridos que las cruces entre líneas estrechamente relacionadas (Tracy y Chandler citados por Lu *et al.*, 2009).

El germoplasma vegetal o recurso fitogenético es el material genético fuente que se utiliza por los fitomejoradores para producir variedades o cultivares nuevos. El germoplasma incluye semillas, hojas, tallos, polen o células cultivadas que se pueden hacer crecer y formar plantas maduras. Las semillas pueden provenir de cultivares viejos o nuevos, y pueden ser criollos, líneas o poblaciones de mejoramiento que obtuvo el fitomejorador (Poehlman y Allen, 2005).

Los recursos fitogenéticos son la suma de todas las combinaciones de genes que resultan de la evolución de una especie (Hernández y Esquivel, 2004).

2.2.2. Diversidad de las razas de maíz

Un estudio de las razas no solo incluye colores o tamaños sino que también se describen los comportamientos en el campo como días a floración, altura, precocidad, rendimiento entre otros. Fenotípicamente se pueden observar diferencias en cuanto a tamaño y color. Esto indica una diversidad genética alta. Una pequeña muestra de la diversidad fenotípica entre las razas de maíz de todo el mundo está en la Figura 3 (Sood *et al.*, 2014).



Figura 3. Muestra de la variabilidad fenotípica entre las razas latinoamericanas de maíz. Cada mazorca representa una raza con características fenotípicas diferentes.

2.2.3. Clasificación y razas de maíz

Las clasificaciones de maíz se basan casi exclusivamente en las características observables o fenotípicas de la mazorca o por el historial de su obtención. Los taxonomistas y genetistas clasifican a las poblaciones de maíz, de la raza o la combinación de razas a las que pertenecen.

Una raza de maíz se define como aquel grupo de plantas de maíz relacionadas con características en común que permiten su reconocimiento como grupo. Desde el punto de vista de la genética, una raza es un grupo de individuos

que posee un número significativo de genes en común (Anderson y Cutler, citados por Aguirre *et al.*, 2000). En México se han identificado 59 razas de maíz de acuerdo con una clasificación basada en características morfológicas e isoenzimáticas; estas razas nativas tienen una correlación con la elaboración de diferentes productos (Fernández *et al.*, 2013). En la actualidad, las razas de maíz se siguen sembrando para producir productos que servirán de autoconsumo en la región o para exportar al extranjero. En el Cuadro 1 se mencionan algunas de las razas de maíz nativas de México y algunos de sus usos.

Cuadro 1. Algunas de las razas nativas de México y algunos de sus usos.

Uso	Razas
Tortillas	Azul, bofo, Bolita, Chalqueño, Elotero de Sinaloa, Conejo, Cónico, Jala, Tuxpeño, Olotón, Tuxpeño Norteño.
Elotes	Jala, Ancho, Apachito, Conejo, Cónico, Serrano de Jalisco, Dulce, Tuxpeño, elotero de Sinaloa, Gordo, Olotón.
Galletas y dulces	Blando de Sonora (coricos), Bofo (galletas), Chalqueño (burritos), Elotes Occidentales (chicales), Gordo (galletas).
Palomitas	Apachito, Arocillo amarillo, Chapalote, Palomero de Chihuahua,

Se observa que muchas de las razas se asocian a elaborar tortillas y también como pueden tener distintos usos un misma raza. Las razas de maíz son importantes porque presentan características genéticas que se pueden utilizar en un programa de mejoramiento genético de maíz con diferentes propósitos; por ejemplo, una de las características del maíz de la raza jala que ha sido cultivado en el Valle de Jala, Nayarit, México es que presenta una mazorca de gran tamaño (60 cm de longitud; Figura 4; Valdivia, 2010).



Figura 4. Mazorcas de maíz Jala producidas por agricultores del Estado de Nayarit, Mexico. (A), mazorcas experimentales (B).

2.3. Tipos de variedades de maíz

2.3.1. Variedad o cultivar

Un “lote de semillas” se considera a “todos los granos” de un tipo específico de maíz que selecciona un agricultor y lo siembra durante la temporada de cultivo. Un cultivar o variedad es aquel donde todos los lotes de semillas llevan el mismo nombre y forman un grupo homogéneo.

Un lote de semillas es por lo tanto, la unidad física de los núcleos asociados con los agricultores que siembran ese lote, mientras que una variedad está asociada con un nombre. Una variedad de maíz se define como “local” cuando la semilla de esa variedad se ha plantado en la región durante al menos una generación de agricultores (que es durante más de 30 años o si un agricultor mantiene que su padre utiliza para sembrarla). Una variedad local se ha cultivado continuamente entre los agricultores durante muchos años.

Una variedad “extranjera” o introducida se caracteriza por la reciente introducción de lotes de semillas o por siembra. Las variedades locales son variedades de los agricultores que no se han mejorado en un programa de mejoramiento formal. Las Variedades extranjeras pueden incluir variedades locales de otras regiones o comerciales mejoradas (Louette *et al.*, 1997).

2.3.2. Variedad criolla

Las variedades locales son poblaciones de plantas que se han adaptado a condiciones de los agricultores a través de selección natural y artificial. En los cultivos de polinización abierta como maíz, los maíces “criollos” son definidos como variedades que se han mezclado con las variedades locales en los campos de los agricultores durante varios años, ya sea a través de la práctica deliberada del agricultor o por medio de la fecundación cruzada natural (Aguirre *et al.*, 2000).

Colectar y estudiar los maíces criollos en México tiene diferentes fines, por ejemplo contar con una fuente de germoplasma para el mejoramiento genético. Otro ejemplo es comprender la agricultura mexicana de autoconsumo y sus cultivares presentes en regiones diferentes del país y por último realizar el estudio biológico para entender la evolución del cultivo y su domesticación.

Considerando las exigencias del mercado se sugiere que se haga más fitomejoramiento en mayor cantidad de material genético que el que se ha usado en los diferentes programas de mejoramiento, debido a que se deben prevenir los problemas fitosanitarios que puedan aparecer. Por otro lado se necesita seguir elevando la capacidad de rendimiento y características especiales como el contenido de antocianinas, aceite, proteína y almidón (Hernández y Esquivel 2004).

2.3.3. Variedad sintética

Un cultivar sintético es una generación avanzada formada de varias líneas endogámicas o híbridos que se propaga por medio de polinización abierta. Cuando se habla del término sintético es hablar de una población de plantas que se produce artificialmente por el fitomejorador (Poehlman y Allen, 2005).

Una variedad sintética es una población mejorada de maíz y se puede obtener usando más de un método de mejoramiento genético. El sintético o variedad sintética es posible obtenerlo en la primera generación (Generación 1) dejando que un compuesto balanceado de líneas o familias que se involucraron se polinicen libremente en un parcela aislada. Este compuesto al llegar al equilibrio en una sola generación en las posteriores siembras masivas con miles de plantas ya no generará endogamia (Márquez-Sanchez, 2013).

2.3.4. Líneas endogámicas

Las líneas de maíz endogámicas son poblaciones de plantas idénticas (o casi idénticas) que regularmente se obtiene por autopolinización. En los programas de mejoramiento se realiza la endogamia que aumenta la homocigosidad antes de formar un híbrido. La vía más rápida hacia la homocigosidad en las plantas es por medio de la autofecundación. En maíz es favorable para estudiar los efectos de la endogamia, ya que es fácil hacer las autofecundaciones y normalmente se obtiene buena formación de semilla después de la autopolinización (Poehlman y Allen, 2005).

2.3.5. Maíz híbrido

Los cultivares híbridos son la primera generación de la progenie resultante de un cruzamiento entre progenitores que pueden ser líneas endogámicas con genotipos diferentes o entre las mismas líneas. En el mejoramiento genético de cultivares híbridos, primero se producen líneas homocigóticas que generalmente se les llama líneas endogámicas; estas líneas son el resultado de la autofecundación en una población de polinización cruzada y servirán como progenitores. En los cultivares híbridos se cruzan líneas endogámicas homocigóticas, es decir líneas puras, y el resultado de esta cruce es la generación F_1 heterocigótica que es el cultivar híbrido. Para poder obtener maíz híbrido durante los años 1920 y 1930 se llevó a cabo el uso de líneas endogámicas a partir de poblaciones criollas o de polinización libre. El maíz híbrido es la progenie de la primera generación de una cruce entre líneas endogámicas (Poehlman y Allen, 2005).

2.3.6. Tipos de maíz híbrido

En el mejoramiento genético de maíz un propósito muy importante es formar cruces (híbridos) que posean un rendimiento de grano superior que el de las variedades locales mejoradas y criollas. Existen tres tipos de maíz híbrido de producción comercial estos son: híbrido de cruce simple, híbrido de cruce doble y el híbrido de cruce trilineal. Cada uno de estos tipos de cruce tiene sus ventajas y desventajas.

El método más sencillo es el de cruce simple entre dos líneas auto fecundadas. Cuando se combinan tres líneas auto fecundadas, se obtiene la llamada cruce de tres líneas o trilineal. Para formar una cruce doble frecuentemente, se combinan cuatro líneas (Sahagún-Castellanos y Rodríguez-Pérez, 2011).

En los Estados Unidos de América, los maíces híbridos utilizados de forma comercial son los de cruce simple debido a que poseen líneas autofecundadas de alto rendimiento. En México los híbridos de maíz que se siembran son los de cruce trilineal ya que no se cuenta con líneas autofecundadas iguales o parecidas a las de los Estados Unidos de América (Escorcía *et al.*, 2010). Los híbridos trilineales generalmente presentan mayor rendimiento que los de cruce doble e interactúan menos con el ambiente que los de cruce simple (Canales, 2014).

2.3.7. Rendimiento del maíz híbrido

Tres son los componentes en que puede dividirse el potencial de rendimiento de la cosecha de un cultivo. El primer componente en que se divide el potencial de rendimiento es el potencial de rendimiento por planta. Duvick (1997) mostró que el rendimiento de los híbridos en la década de 1990 en una población típica o clásica de 7.9 plantas por m^2 , presentó un aumento anual en el rendimiento de grano de 110 $kg\ ha^{-1}$. Mientras que en una población de 3 plantas por m^2 (1930 población típica o clásica) la ganancia anual del rendimiento de grano fue de sólo 39 $kg\ ha^{-1}$. En el intermedio la población de 5.4 plantas por m^2 mostró una ganancia de 88 $kg\ ha^{-1}$ Duvick (citado por Tokatlidis y Koutroubas, 2004).

2.4. Heterosis en el cultivo de maíz

La heterosis o vigor híbrido, fue descrita por Darwin después de observar un crecimiento de los híbridos superior al de sus progenitores. Este vigor híbrido o heterosis se redescubrió hace casi un siglo en el mejoramiento de maíz y como un fenómeno agrícola milagroso. Este redescubrimiento se ha empleado en muchas especies de cultivos. La importancia de la heterosis en la agricultura se debe a los aumentos en el rendimiento en los últimos 50 años, después de haberse usado los híbridos en la producción de los cultivos. La heterosis en el maíz aumenta por lo menos un 15% los rendimientos. Los híbridos de maíz dan como ventaja un rendimiento entre un 15% y un 50% dependiendo del cultivo (Lippman and Zamir, 2006).

En muchos países se han obtenido altos rendimientos y se le ha dado importancia a la heterosis para aumentar el rendimiento del cultivo del maíz. Por ejemplo en China el vigor híbrido o heterosis de maíz aporta el 40% de aumento en el rendimiento de grano (Qi *et al.*, 2012).

En la actualidad el 95% de la superficie de cultivo de maíz en los Estados Unidos de América y el 65% en todo el mundo es sembrada con maíz híbrido. La heterosis es más evidente en rasgos de los adultos (Figura 5a), pero también se manifiesta durante el embrión y en el desarrollo temprano de las plántulas (Figura 5b) (Hochholdinger y Hoecker, 2007).

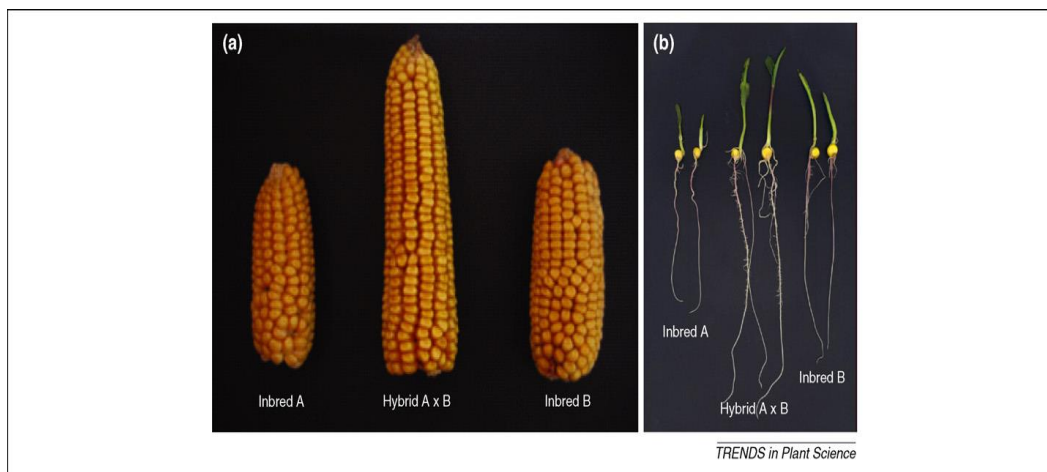


Figura 5. Manifestación fenotípica de la heterosis. (a) La heterosis se detecta normalmente en los rasgos de adultos, tales como el rendimiento o el tamaño de la mazorca. (b) La heterosis ya se manifiesta durante las plántulas en desarrollo.

2. 4.1. Heterosis en el rendimiento de grano de maíz

La heterosis en el rendimiento de grano tiene componentes fisiológicos que son influenciados por el entorno o ambiente. Estos componentes son resumidos en la producción de biomasa en general y su distribución entre los tejidos reproductivos y vegetativos. La biomasa se puede describir como el producto entre la oferta de recursos (luz, nutrientes y agua) y la capacidad de las plantas para capturar uno de estos recursos que será convertido en biomasa (Loomis y Connor, citado por Munaro *et al.*, 2011).

2.4.2. Incremento en el rendimiento de grano del maíz

En los Estados Unidos de América y en Europa el rendimiento de grano de maíz ha aumentado gracias a mejores prácticas de manejo agronómico. Algunas de estas prácticas son el incremento en el uso de fertilizantes nitrogenados aunado a las altas densidades de población. Otra de las prácticas para aumentar el rendimiento de grano es el mejoramiento genético del maíz donde las plantas tienen menor porte, hojas erectas, resistencia al acame, tolerancia a enfermedades y sequía (Wong *et al.*, 2007).

2.4.3. Aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica

Para elegir a los progenitores que servirán de base en un programa de mejoramiento de cruzas para formar híbridos se utilizan varios métodos. Estos métodos son el comportamiento *per se* en diferentes ambientes y el comportamiento de las cruzas en que intervienen como progenitores, lo que se conoce como “la aptitud combinatoria de los progenitores”. Es aquí donde se utilizan los términos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE). Estos términos fueron definidos por Sprague y Tatum quienes definieron la ACG como el comportamiento promedio de una línea en la formación de híbridos y la ACE como las combinaciones que se comportan mejor o peor que los progenitores. El método más simple para estimar la ACG y ACE, es con los promedios de los progenitores y las cruzas (Reyes, 1985).

La información de la ACG entre el germoplasma de maíz es de vital importancia para maximizar la eficiencia en el desarrollo de un híbrido (Beck *et al.*, citados por Amiruzzaman *et al.*, 2013) por lo que se deben seleccionar líneas puras con alta ACG. La ACG a diferencia de la ACE es causada principalmente por efectos aditivos (Sprague y Tatum; citados por Qi *et al.*, 2013).

2.5. Dialelico y el método Griffing

El dialelico es un diseño que sirve para identificar las mejores combinaciones de cruzas en la formación de híbridos y conocer las líneas por su ACG y ACE. Una vez que se conoce el comportamiento de las líneas se puede hacer uso de ellas. En un dialelico intervienen un conjunto de progenitores y estos progenitores pueden ser líneas puras que servirán para formar las cruzas. Este procedimiento da lugar a un máximo de combinaciones entre los progenitores y puede presentar variaciones dependiendo si los padres son endogámicos o si se incluyen las cruzas recíprocas.

Existen cuatro posibles métodos experimentales:

- a) Los progenitores y las cruzas F_1 directas y recíprocas es decir que se incluyen todas las combinaciones.
- b) Los progenitores y las cruzas F_1 directas se incluyen pero los híbridos F_1 recíprocos no.
- c) Las cruzas F_1 directas y recíprocas son incluidas pero no los progenitores y

d) Un juego de las cruzas F_1 directas pero no los progenitores ni las F_1 recíprocas (Griffing, 1956).

Una forma usual de presentar los datos de un dialélico es lo que se conoce como la tabla de doble entrada. En la diagonal está el progenitor, en las hileras están las hembras y en las columnas están los machos, arriba de la diagonal las cruzas simples directas y debajo de la diagonal las cruzas simples recíprocas. En la Figura 6 se tiene un ejemplo de una tabla de doble entrada (Reyes, 1985).

♂	A	B	C	D	E
♀	A	BXA	CXA	DXA	EXA
A	A	AXB	AXC	AXD	AXE
B	BXA	B	BXC	BXD	BXE
C	CXA	CXB	C	CXD	CXE
D	DXA	DXB	DXC	D	DXE
E	EXA	EXB	EXC	EXD	E

Figura 6. Tabla de doble entrada en un dialélico.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del lugar

3.1.1. Ubicación del campo experimental

El presente trabajo de investigación se realizó en el Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L., en Marín, Nuevo León, que se encuentra localizado en los 25° 52' 13.5'', Latitud Norte y 100° 02' 22.56 Longitud Oeste a una altura de 355 m.s.n.m. durante los ciclos otoño invierno 2012, primavera-verano 2013 y otoño invierno 2013.

En Marín Nuevo León el clima es típicamente semiárido y cuenta con una temperatura media anual de 21°C y alrededor de 500 mm de precipitación. La mayoría de los suelos son grises oscuros, limo-arenosos, vertisoles, los cuales son el resultado de procesos aluviales y coluviales. Son característicos por su alto contenido de arcilla y carbonato de calcio con pH de 7.5 a 8.5 y bajo contenido de materia orgánica (Ramírez *et al.*, 2001).

3.2. Material experimental

3.2.1. Líneas S_3 de la Facultad de Agronomía de la UANL

La Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León cuenta con maíces criollos de distintas áreas del Estado de Nuevo León. En trabajos previos realizados como parte de las actividades del programa de mejoramiento en maíz, algunas poblaciones se utilizaron para generar líneas endogámicas S_3 .

Como parte inicial de este trabajo de investigación se alcanzaron las líneas S_3 hasta la generación S_4 por medio de autofecundación. Para esto, en el ciclo otoño - invierno 2012, el 29 de agosto de 2012 se sembraron ocho líneas S_3 provenientes del banco de germoplasma de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, provenientes de poblaciones criollas de maíz. Cuando las líneas alcanzaron la floración, se realizaron autofecundaciones en cada una de ellas. El número de autofecundaciones fue de dos a cuatro plantas por población para poder garantizar un número de semillas apropiado para realizar los cruzamientos necesarios en el siguiente ciclo de siembra.

Las líneas S_3 provenientes de distintas poblaciones del estado de Nuevo León, México y que fueron autofecundadas para formar líneas S_4 se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Líneas S₃ con que cuenta la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Progenitor	Variedad	Población
1	Pinto Amarillo	24
2	Pinto Amarillo	44
3	Pinto Amarillo	48
4	Pinto Amarillo	50
5	Pinto Amarillo	21
6	Pinto Amarillo	1
7	Liebre	61
8	Blanco Hualahuises	su-98

3.2.2. Autopolinización de líneas S₃ para formar líneas S₄

Las ocho líneas S₃ se sembraron en surcos espaciados de 0.8m, con 5m de longitud. Las franjas tuvieron 28 surcos dejando cuatro de protección; dos de cada lado de la franja.

El número de surcos por línea fue de cuatro para cada una de ellas y la autopolinización de las plantas S₃ para avanzar a líneas S₄, se hizo en base a la selección de plantas tomando sólo dos a cuatro de cada surco que presentaran

mejores caracteres agronómicos como sanidad, resistencia al acame, homogeneidad, entre otros.

Las inflorescencias femeninas se cubrieron uno o dos días antes de que los estigmas emergieran para evitar que fueran polinizados de plantas indeseables. Sobre cada inflorescencia se colocó una bolsa de papel glassine. Una vez que los estigmas emergieron de la inflorescencia femenina se recortaron antes de su polinización (un día antes o en ese mismo momento antes de polinizar) para que el tamaño de cada uno fuera uniforme. Inmediatamente después, fueron polinizados con el polen colectado previamente de la espiga de la misma planta con un bolsa de papel y se anotó la fecha de la autopolinización. Después de la polinización de los estigmas, la bolsa de papel se fijó sobre la inflorescencia femenina y se dejó hasta la maduración del grano. Los pasos para la autofecundación se presentan en la Figura 7.

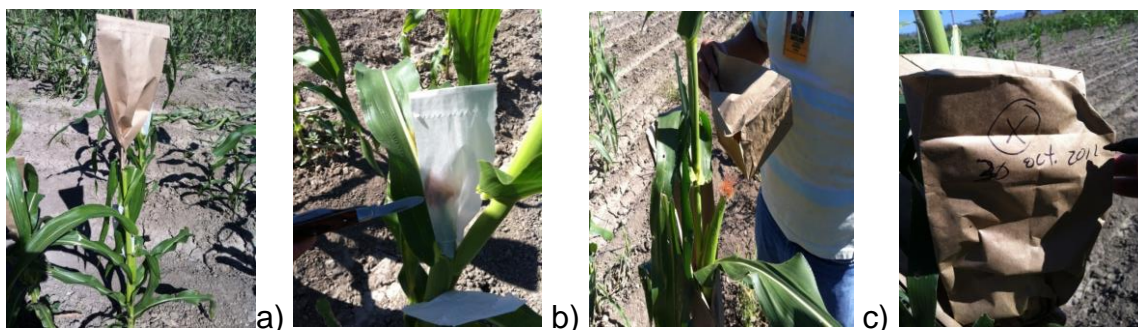


Figura 7. a) Flor masculina cubierta para la colecta de polen. b) Flor femenina protegida con bolsa transparente permitiendo ver la inflorescencia c) Inflorescencia lista para recibir polen de la misma planta. d) Protección y etiquetado.

3.2.3 Formación del Dialélico

En el ciclo primavera - verano 2013 el 25 de febrero se sembraron las líneas S₄ en parcelas de cuatro surcos para cada una de las líneas; los surcos fueron de cinco metros de longitud y 0.80 m de ancho. El terreno experimental fue enriquecido con gallinaza como materia orgánica con una dosis de 200 kg además de aplicar fertilizantes químicos a una relación de 2 kg de fertilizante triple 16-16-16 y 2 kg de sulfato de amonio por parcela. Para la eliminación de malezas se llevó a cabo con el uso de los herbicidas 2-4-D amina y glifosato.

Se realizaron las cruza simples en base a un dialélico; el número de líneas S₄ incluidas fue de siete y estas fueron consideradas como los progenitores. Cada una de estas líneas fue el producto de la autofecundación en el ciclo primavera - verano 2012 es decir el ciclo anterior.

Los pasos para realizar cada una de las cruza simples fueron idénticos a los que se llevaron a cabo en la autofecundación, a diferencia de que el polen usado no fue de la misma planta como sucedió en la autopolinización, sino de otra planta o progenitor deseado.

Antes de iniciar la emergencia de los estigmas de la planta considerada como hembra se cubrió el jilote con una bolsa de papel glassine; una vez emergidos los

estigmas se cruzó con polen de la planta considerada como macho; este proceso se repitió al menos dos veces para contar con semilla suficiente para la evaluación de los híbridos en el siguiente ciclo.

El número de cruzas simples posibles o dialélicas, se calculó conforme a la siguiente expresión:

$$\text{Cruzas posibles} = \frac{P(p-1)}{2} \text{ (Reyes, 1985).}$$

P = número de progenitores

Con las ocho líneas endogámicas se llevó a cabo la formación de 28 híbridos de cruzas simples y 28 de cruzas recíprocas solo que la línea Pinto Amarillo 21 presentó plantas enfermas por lo que se descartó, quedando solo siete líneas S₄ para formar 21 híbridos.

De acuerdo con la Figura 8, las líneas S₄ están en la diagonal del cuadro de doble entrada y son consideradas como los progenitores. En las hileras del cuadro de doble entrada están las hembras ♀ y en las columnas los machos ♂. Arriba de la diagonal se encuentran las cruzas simples directas y debajo de la diagonal las cruzas simples recíprocas.

♀ \ ♂	PA24	PA44	PA48	PA50	PA1	L61	BH
PA24	PA24	PA24 X PA44	PA24 X PA48	PA24 X PA50	PA24 X PA1	PA24 X L61	PA24 X B.H.
PA44	PA44 X PA24	PA44	PA44 X PA48	PA44 X PA50	PA 44 X PA1	PA44 X L61	PA44 X BH
PA48	PA48 X PA24	PA48 X PA44	PA48	PA48 X PA50	PA48 X PA1	PA48 X L61	PA48 X BH
PA50	PA50 X PA24	PA50 X PA44	PA50 X PA48	PA50	PA50 X PA1	PA50 X L61	PA50 X BH
PA1	PA1 X PA24	PA1 X PA44	PA1 X PA48	PA1 X PA50	PA1	PA1 X L61	PA1 X BH
L61	L61 X PA24	L61 X PA44	L61 X PA48	L61 X PA50	L61 X PA1	L61	L61 X BH
BH	BH X PA24	BH X PA44	BH X PA48	BH X PA50	BH X PA1	BH X L61	BH

Figura 8. Dialelico con siete líneas y 21 cruzas simples y 21 cruzas recíprocas. Progenitores: PA24 = Pinto amarillo población 24, PA44 = Pinto amarillo población 44, PA48 = Pinto amarillo población 48, PA50 = Pinto amarillo población 50, PA1 = Pinto amarillo población 1, L61 = Liebre población 61, BH = Blanco Hualauises.

3.3. Evaluación de los híbridos experimentales en el ciclo Otoño-Invierno 2013

Se utilizaron 200 semillas para cada cruza realizada en las cuatro repeticiones (100 semillas de las cruzas directas y 100 semillas de cruzas recíprocas). De acuerdo al modelo utilizado, se consideró la ausencia de efectos maternos.

Una vez que se cosechó la semilla de las 21 cruzas (híbridos), se mezclaron en cantidades iguales de cada cruza para completar 200 semillas para las cuatro repeticiones (100 semillas de las cruzas directas y 100 semillas de cruzas recíprocas), se empaquetaron en ocho sobres de 25 semillas cada uno y fueron dos sobres por tratamiento (híbrido experimental) dando un total de 50 semillas.

3.3.1. Diseño experimental

Los 21 híbridos (Cuadro 3) se sembraron en el ciclo otoño - invierno el 23 de agosto de 2013. Se evaluaron en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones donde la parcelas o unidades experimentales fueron de dos surcos de 5 metros de largo con una distancia de 0.20 m entre planta y 0.80 m entre surcos. El número de híbridos experimentales fue de 21 por repetición y la densidad de población fue de 62 mil 500 plantas ha⁻¹. Se usaron como testigos los híbridos comerciales de maíz CEBÚ Asgrow y el DEKALB 20-27 de la empresa Monsanto.

3.3.2. Estimación de ACG y ACE

El método para estimar el análisis de la ACG (aptitud ombinatoria general) y ACE (aptitud combinatoria específica) de los híbridos de cruce simple, fue el método IV de Griffing (1956) el cual solo evalúa las cruzas directas F₁. El modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + g_j + S_{ij} + e_{ijk}$$

Dónde: Y_{ij} es el valor fenotípico observado de la cruce con progenitores i y j ; μ es la media general; g_i y g_j es el efecto de la ACG del progenitor i y j ; S_{ij} es el efecto de la aptitud combinatoria específica de la cruce (ij); y e_{ijk} el error experimental (De la Rosa *et al.*, 2006). El paquete estadístico para estimar ACG y ACE fue el de Olivares (1984). Paquete de Diseños Experimentales FAUANL. Versión 2.5 Facultad de Agronomía, Marín, NL.

Cuadro 3. Híbridos experimentales de maíz de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León evaluados en el ciclo otoño - invierno 2013.

Número	Híbrido
1 (1x2)	Pinto amarillo 24 x Pinto amarillo 44
2 (1x3)	Pinto amarillo 24 x Pinto amarillo 48
3 (1x4)	Pinto amarillo 24 x Pinto amarillo 50
4(1x5)	Pinto amarillo 24 x Pinto amarillo 1
5(1x6)	Pinto amarillo 24 x Liebre 61
6(1x7)	Pinto amarillo 24 x Blanco Hualauises su-98
7(2x3)	Pinto amarillo 44 x Pinto amarillo 48
8 (2x4)	Pinto amarillo 44 x Pinto amarillo 50
9 (2x5)	Pinto amarillo 44 x Pinto amarillo 1
10 (2x6)	Pinto amarillo 44 x Liebre 61
11 (2x7)	Pinto amarillo 44 x Blanco Hualauises su-98
12 (3x4)	Pinto amarillo 48 x Pinto amarillo 50
13 (3x5)	Pinto amarillo 48 x Pinto amarillo1
14 (3x6)	Pinto amarillo 48 x Liebre 61
15 (3x7)	Pinto amarillo 48 x Blanco Hualauises su-98
16 (4x5)	Pinto amarillo 50 x Pinto amarillo 1
17 (4x6)	Pinto amarillo 50 x Liebre 61
18 (4x7)	Pinto amarillo 50 x Blanco Hualauises su-98
19 (5x6)	Pinto amarillo 1 x Liebre 61
20 (5x7)	Pinto amarillo 1 x Blanco Hualauises su-98
21 (6x7)	Liebre 61 x Blanco Hualaises

3.3.3. Manejo del cultivo

Para el control de gusano cogollero y otras plagas se usó Permetrina con el nombre comercial Pounce® al 40% en presentación granulada y líquida. Se realizaron tres aplicaciones una en forma líquida con una dosis de dos ml por cada litro de agua con un gasto de 400ml de insecticida en 200 litros de agua ha⁻¹ y dos aplicaciones al voleo en forma granulada de cinco kg ha⁻¹. Otra práctica que se realizó en el presente experimento dentro del manejo del cultivo de maíz fue la aplicación de materia orgánica con gallinaza de la compañía Meyer® en una dosis de aproximadamente 10 ton ha⁻¹ para favorecer a reducir la compactación del suelo y la incorporación de nutrientes.

3.4. Variables de estudio

Las variables para la evaluación de los híbridos se explican a continuación:

1.) Altura de la planta.

La altura se midió en centímetros desde la base del tallo a la punta de la espiga, con una muestra de 10 plantas que tuvieran competencia completa; después se obtuvo el promedio aritmético.

2.) Altura a la mazorca.

Para medir la altura a la mazorca se tomó la medida contando desde la base del tallo hasta la base de la mazorca. En esta variable la cantidad de plantas que sirvió como muestra fue de 10 plantas.

3.) Días a Floración.

Para determinar los días a floración femenina y/o masculina se consideró cuando al menos el 50 % de las plantas presentaban los estigmas en el jilote o las espigas estaban en antesis, respectivamente. Se realizaron tres fechas diferentes para determinar los días a floración masculina y femenina; 15 de octubre, 23 de octubre y 28 de octubre de 2013 y en cada una de ellas se contó el número de plantas en floración; para el 28 de octubre de 2013 todos los genotipos habían alcanzado la floración masculina y femenina.

4.) Rendimiento de grano de plantas con competencia completa ajustado el grano al 14% de humedad.

El grano de 15 plantas con competencia completa de cada uno de los genotipos se pesó en gramos después de medir su temperatura.

El peso se determinó en gramos y posteriormente en ton ha^{-1} . El peso de grano se ajustó al 14 % de humedad por considerarse como el porcentaje de humedad comercial (Espinoza-Calderón *et al.*, 2013). La fórmula para ajustar el peso de grano por humedad al 14 % fue la siguiente (Flores, 2010):

$$RC = \frac{Pgh1 \times 100 - ph}{86}$$

En donde:

RC = Rendimiento de grano al 14% de humedad.

Pgh = Peso del grano expresado en gramos.

ph = Porcentaje de la humedad del grano.

La humedad del grano se determinó con un aparato marca Staeinlite® modelo 90 y la báscula para pesar los tratamientos fue digital de la marca TOR REY® del Proyecto de mejoramiento genético de plantas de la FAUANL. Todos los tratamientos se pesaron y se midió su temperatura el mismo día.

5.) Ajuste del número de plantas (ajuste a 15 plantas).

En algunos tratamientos el número de plantas para la variable de rendimiento no pudo ser de 15 plantas por lo que se tuvo que hacer un ajuste con los datos obtenidos del número de plantas.

6.) Rendimiento de grano en ton ha^{-1} .

Una vez que se tuvo el ajuste de humedad y el ajuste de plantas se procedió a determinar el rendimiento en ton ha^{-1} .

3.5. Análisis estadístico

En todas las variables se utilizó el diseño experimental de bloques al azar; para la variable “rendimiento” se utilizó el análisis de covarianza. El análisis estadístico y la comparación de medias de los híbridos (método de DMS) se realizaron con el paquete de Diseños Experimentales UANL, Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León Versión 1.1 (Olivares, 2012).

4. RESULTADOS Y DISUSIÓN

4.1. Análisis de varianza para las variables agronómicas

Los análisis de varianza (Cuadro 4) para las cinco variables: altura de planta, altura a la mazorca, floración masculina, floración femenina y rendimiento se encontraron diferencias significativas entre las cruzas. El resultado de estas diferencias se puede atribuir a la diversidad de los orígenes de donde proceden las líneas que fueron progenitores de estas cruzas evaluadas en el presente experimento (De la cruz *et al.*, 2003).

Cuando se presentan diferencias entre genotipos o cruzas hace posible que se puedan identificar cuáles de esas cruzas son tardías, precoces, de porte alto o bajo y aquellas de rendimiento alto (De la Rosa *et al.*, 2006). Una vez que se tiene esta información pueden hacerse recomendaciones o sugerencias sobre el uso de los genotipos experimentales que fueron evaluados.

Cuadro 4. Cuadros medios del análisis de varianza para altura de planta, altura a la mazorca, floración masculina, floración femenina y rendimiento de grano.

FV	GL	AP (cm)	AM (cm)	FM (dias)	FF (dias)	RG (t ha ⁻¹)
Genotipos	20	679.957**	364.722**	43.765**	19.204*	1.787**
Bloques	3	4255.024**	552.694**	17.952*	6.556	0.658
Error	60	116.59	31.299	6.127	4.897	0.477
Total	83					

FV: fuente de variación; GL, grados de libertad; ** altamente significativo, *significativo, AP: altura de planta, AM: altura a la mazorca, FM: floración masculina, FF: floración femenina, RG: rendimiento de grano.

4.1.2. Comparación de medias para las variables agronómicas

Cuando se encontraron diferencias significativas, se procedió a realizar la prueba de medias para identificar los genotipos con los mayores o menores expresiones de la variable. El genotipo que presentó la mayor altura fue el 3X6 con 286.3 cm; sin embargo, fueron estadísticamente iguales seis genotipos mas (2X3, 2X4, 4X7, 1X3, 1X2 y 2X7). El rango de alturas mayores estuvo entre 286.3 y 271.6. Por el contrario, el genotipo que resultó estadísticamente inferior fue el 5X6 con 233.1 cm (Cuadro 6).

Para el caso de la altura a la mazorca, la cruzas 3x7 fue la que presentó el valor estadísticamente superior con 127.1 cm, aunque fue estadísticamente igual a otras 5 cruzas (3x6, 3X4, 4X7, 1X3 y 2X3). Por el contrario, los genotipos estadísticamente con los valores más bajos para esta variable fueron el 1x5 y 5x6 con valores 94.3 y 93.5 cm, respectivamente (Cuadro 5).

La altura de planta y altura a la mazorca son características agronómicas muy importantes en el mejoramiento genético del maíz ya que como menciona Zhang *et al.* (2006) influyen en la producción potencial; además de tener correlación entre ellas también poseen correlación con el acame por lo que se recomienda el uso de plantas de porte intermedio o bajo que son de aproximadamente 233 cm para la altura de planta y 117 cm para altura de mazorca (Sierra *et al.*, 2004).

Cuadro 5. Comparación de medias para altura de planta y altura a la mazorca.

Cruza Altura de planta (cm)			Cruza Altura mazorca (cm)		
14 (3x6)	286.3	a	15 (3x7)	127.1	a
7 (2x3)	283.5	ab	14 (3x6)	126.2	ab
8 (2x4)	282.5	abc	12 (3x4)	124.9	abc
18 (4x7)	282.1	abc	18 (4x7)	124.6	abcd
2 (1x3)	279.2	abcd	2 (1x3)	120.7	abcde
1 (1x2)	273.2	abcde	7 (2x3)	120.0	abcde
11 (2x7)	271.6	abcde	8 (2x4)	118.5	bcdef
3 (1x4)	270.4	bcdef	17 (4x6)	117.9	cdefg
17 (4x6)	268.2	cdefg	13 (3x5)	117.0	defg
15 (3x7)	267.9	cdefg	20 (5x7)	116.9	defg
10 (2x6)	265.8	defgh	11 (2x7)	116.8	defg
6 (1x7)	265.8	defgh	1 (1x2)	115.8	efg
12 (3x4)	262.4	efgh	6 (1x7)	113.3	efgh
13 (3x5)	261.5	efgh	21 (6x7)	112.0	fgh
20 (5x7)	261.2	efgh	5 (1x6)	110.2	ghi
16 (4x5)	255.9	fgh	3 (1x4)	107.5	hi
21 (6x7)	255.1	gh	10 (2x6)	105.9	hi
9 (2x5)	253.9	gh	9 (2x5)	105.6	hi
5 (1x6)	253.7	gh	16 (4x5)	102.9	i
4 (1x5)	251.6	h	4 (1x5)	94.3	j
19 (5x6)	233.1	i	19 (5x6)	93.5	j

Para el caso de las variable días a floración masculina y días a floración femenina (Cuadro 6), solamente se identificaron cuatro grupos y tres grupos de genotipos respectivamente, esto fue debido principalmente a dos razones: la primera es el origen de los materiales, ya que todos ellos provienen de las zonas bajas del estado de Nuevo León, donde las condiciones de sequía y alta temperatura prevalecen, provocando una reacción parecida en todos los genotipos de la región y

la segunda pudo ser ocasionado por la forma de cómo se registró este dato, que como se mencionó, solo se visitó en tres ocasiones el lote con intervalos de una semana.

Los genotipos más tardíos para el caso de la floración masculina lo formo un grupo de 13 genotipos con un rango de variación entre los 58 y 55 días a floración; en general, se observa una tendencia a que todos los híbridos donde intervinieron los progenitores 6 y 3 (Liebre 61 y Pinto Amarillo 48), se encontraron en este grupo.

Los genotipos más precoces lo formaron un grupo que estaba integrado por cinco genotipos, con un rango entre los 51 y 49 días a floración masculina. Es importante notar que los progenitores 5 y 7 (Pinto Amarillo 1 y Hualahuises, respectivamente) aparecen en todas estas cruza, lo que puede ser un indicador de ser portadores de precocidad.

En la floración femenina el genotipo más tardío fue el 1X4 con 61 días; sin embargo, fue estadísticamente igual a seis genotipos mas (3X6, 2X3, 3X4, 1X3, 4X6 y 6X7) que variaron entre los 59 días y los 58 días. Nuevamente el Pinto Amarillo 48 (progenitor 3) aparece en la mayoría de los híbridos tardíos.

Para el caso de los genotipos precoces, aparecen los genotipos 4X5, 2X5 y 2X7, cuyas floraciones femeninas fueron 53, 53 y 51 días; el genotipo 5 (Pinto Amarillo 1) aparece como candidato nuevamente a tener genes de precocidad. Todas las cruzas de este experimento se pueden considerar de tipo precoces ya que Arellano *et al.* (2013) consideran que los genotipos con 97 a 100 días a floración femenina son de tipo intermedio a tardío.

Efectos de heterosis en precocidad se han observado en otros experimentos, donde los híbridos resultan por lo general más precoces que las líneas, indicando un genotipo más acelerado para el desarrollo de sus funciones vitales, que lo hacen tener menos días a floración, tanto masculina como femenina.

Cuadro 6. Comparación de medias para la floración masculina y femenina.

Cruza			FM (días)			Cruza			FF (días)		
14	(3x6)	58	a	3	(1x4)	61	a				
17	(4x6)	58	a	14	(3x6)	59	ab				
5	(1X6)	57	a	7	(2x3)	58	ab				
6	(1X7)	57	a	12	(3x4)	58	ab				
7	(2X3)	57	a	2	(1x3)	58	ab				
12	(3x4)	57	a	17	(4x6)	58	ab				
13	(3x5)	57	a	21	(6x7)	58	ab				
2	(1X3)	57	a	8	(2x4)	57	b				
3	(1X4)	57	a	10	(2x6)	57	b				
19	(5x6)	57	a	4	(1x5)	57	b				
10	(2x6)	55	ab	13	(3x5)	57	b				
18	(4x7)	55	ab	5	(1x6)	57	b				
1	(1X2)	55	ab	15	(3x7)	57	b				
15	(3x7)	53	bc	6	(1x7)	57	b				
4	(1X5)	53	bc	18	(4x7)	57	b				
21	(6x7)	53	bc	19	(5x6)	57	b				
8	(2x4)	51	cd	20	(5x7)	57	b				
11	(2x7)	49	d	1	(1x2)	57	b				
16	(4x5)	49	d	16	(4x5)	53	c				
20	(5x7)	49	d	9	(2x5)	53	c				
9	(2x5)	49	d	11	(2x7)	51	c				

En el Cuadro 7 se presentan los resultados de la variable rendimiento de grano. Los genotipos comerciales CEBÚ y DEKALB 20-27 que sirvieron como testigos, presentaron los promedios más altos (8.5 y 8.0 Ton ha⁻¹).

Entre los genotipos experimentales la cruza 1x5 fue estadísticamente igual al genotipo DEKALB 20-27 con 7.12 Ton ha⁻¹, coincidentemente la línea 5 es considerada como una línea precoz de acuerdo a los datos de las floraciones masculinas y femeninas analizadas previamente.

El resto de los híbridos presento valores en un rango que estuvo entre los 6.9 Ton ha⁻¹ a las 5.78 Ton ha⁻¹, a pesar de que ninguno de los híbridos experimentales superaron a los testigo, se observan buenas expresiones de rendimiento de grano, por lo que no se descarta la oportunidad de hacer nuevas evaluaciones e identificar el potencial de los híbridos experimentales evaluados.

Cuadro 7. Comparación de medias para el rendimiento en ton ha⁻¹.

Cruza	ton ha ⁻¹	
22 CEBÚ	8.575	A
23 DK 20-27	8.055	Ab
4 (1x5)	7.121	Bc
10 (2x6)	6.982	Cd
13 (3x5)	6.926	cde
16 (4x5)	6.832	cdef
8 (2x4)	6.758	cdefg
5 (1x6)	6.694	cdefg
14 (3x6)	6.474	cdefg
17 (4x6)	6.439	cdefg
12 (3x4)	6.405	cdefg
20 (5x7)	6.326	cdefg
6 (1x7)	6.286	cdefg
1 (1x2)	6.243	cdefg
7 (2x3)	6.214	cdefg
2 (1x3)	6.190	cdefg
19 (5x6)	6.144	cdefg
18 (4x7)	6.125	cdefg
9 (2x5)	6.112	defg
21 (6x7)	5.989	efg
15 (3x7)	5.974	efg
11 (2x7)	5.893	fg
3 (1x4)	5.783	g

4.2. Análisis de varianza para estimar la ACG y ACE

En el análisis de varianza para estimar ACG y ACE con el método IV de Griffing, se tuvieron diferencias significativas tanto en la ACG como en la ACE para todas las variables excepción de la variable rendimiento de grano (Cuadro 8). Al presentarse significancia alta en la ACE se muestra la existencia de cruzamientos específicos de valores sobre-dominantes de algunas líneas que se pueden utilizar para formar híbridos (Gutiérrez *et al.*, 2002).

Cuadro 8. Cuadros medios de los análisis de varianza para altura de planta, altura a la mazorca, floración masculina y floración femenina con el método IV de Griffing de efectos fijos.

FV	GL	AP (cm)	AM (cm)	FM (días)	FF (días)	RG (t ha ⁻¹)
Bloques	3	4225.33 **	552.70 **	17.95 *	6.55	0.78
Cruzas	20	679.97 **	364.76 **	43.76 **	19.2 **	0.51
ACG	6	1500.83**	969.48 **	103.17 **	34.12 **	0.35
ACE	14	328.83 **	105.6	18.3 **	12.8 **	0.57
Error	60	116.57	31.29	6.12	4.89	0.65
C.V. (%)		4.05	4.91	4.54	3.88	

FV= fuente de variación; GL= grados de libertad; ** altamente significativo; * significativo; ACG= aptitud combinatoria general; ACE aptitud combinatoria específica; CV= coeficiente de variación; AP= Altura de planta; AM= altura a la mazorca; FM= Floración masculina; FF= Floración femenina; RG= Rendimiento de grano.

4.2.1. ACG y ACE para altura de planta

En el Cuadro 9 se aprecia los valores de los efectos para la aptitud combinatoria general de las siete líneas para la altura de la planta donde los progenitores con tendencia mayor de ACG son P3, P2, P4 y P7, por sus valores positivos mientras que P1, P6 y P5 son negativos. En lo que se refiere a las cruzas las que mostraron mayor ACE fueron P3xP6, P4xP7 y P5xP7, a diferencia de otras como P1xP7, P1xP6, P6xP7 que presentaron valores negativos.

Cuadro 9. Efectos de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica para altura de la planta.

		PROGENITORES						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	
P1	-0.3578	0.6366	4.5816	-0.4883	1.7316	-5.2483	-1.3633	
P2		6.9521	1.5716	4.4516	-3.3533	-0.3833	-2.9233	
P3			9.0321	-17.7783	2.2666	18.0366	-8.6783	
P4				5.1521	0.4966	3.7666	9.4016	
P5					-15.6928	-10.4383	9.2966	
P6						-6.6878	-5.7333	
P7							1.6021	

P1 = Pinto amarillo 24; P2 = Pinto amarillo 44; P3 = Pinto amarillo 48; P4 = Pinto amarillo 50; P5 = Pinto amarillo 1; P6 = Liebre 61; P7 = Blanco Hualauises su-98. En la diagonal son presentados los progenitores.

4.2.2. ACG y ACE para altura a la mazorca

El Cuadro 10, presenta los valores de los efectos para la aptitud combinatoria general y los efectos para la aptitud combinatoria específica de altura a la mazorca de las siete líneas y donde los progenitores con tendencia mayor y valores positivos de ACG son P3, P7 y P4 mientras que P1, P2, P5 y P6 son negativos. En lo que se refiere a las cruzas las que mostraron mayor ACE para altura a la mazorca fueron P5xP7, P1xP2 y P3xP6, a diferencia de otras como P3xP4, P1xP7, P6xP7 las cuales presentaron valores negativos.

Cuadro 10. Efectos de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica para altura a la mazorca.

		PROGENITORES						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	
P1	-4.2907	6.3849	0.5740	-4.6999	-4.6449	4.1600	-1.7749	
P2		-0.1407	-4.2000	2.1250	2.4800	-4.2900	-2.4499	
P3			10.5192	-2.0599	3.2200	5.2999	-2.7849	
P4				2.5942	-2.9549	4.9250	2.9250	
P5					-10.6107	-6.2699	8.1700	
P6						-3.5407	-3.8249	
P7							5.4692	

P1 = Pinto amarillo 24; P2 = Pinto amarillo 44; P3 = Pinto amarillo 48; P4 = Pinto amarillo 50; P5 = Pinto amarillo 1; P6 = Liebre 61; P7 = Blanco Hualauises su-98. En la diagonal se alcanzan a observar los progenitores y por arriba de la diagonal las cruzas simples directas.

4.2.3. ACG y ACE para días a floración masculina

En el Cuadro 11 se muestran los valores de ACG de las líneas y de ACE de las cruzas para la floración masculina. Los progenitores con valores positivos son P1, P3, P4 y P6. La ACE de las cruzas con valores positivos fueron P1XP7, P5XP6, P3XP5 y P2XP3, algunas cruzas que presentaron valores negativos fueron P1xP6, P5xP7 y P1xP3.

Las cruzas presentaron efectos negativos en la ACE por lo que la precocidad está controlada por los efectos génicos no aditivos (ACE) y de tipo negativo ya que las cruzas fueron más precoces que sus progenitores (De la Cruz *et al.*, 2003).

Cuadro 11. Efectos de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica para la floración masculina.

PROGENITORES							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
P1	1.8571	0.8333	-1.8166	0.5833	-0.7666	-1.6666	2.8333
P2		-2.1428	2.1833	-1.4166	-0.7666	0.3333	-1.1666
P3			2.5071	-0.0666	2.5833	-1.0666	-1.8666
P4				0.1071	-3.0166	1.3333	2.5833
P5					-2.5428	2.7333	-0.7666
P6						2.3571	-1.6666
P7							-2.1428

P1 = Pinto amarillo 24; P2 = Pinto amarillo 44; P3 = Pinto amarillo 48; P4 = Pinto amarillo 50; P5 = Pinto amarillo 1; P6 = Liebre 61; P7 = Blanco Hualauises su-98.

4.2.4. ACG y ACE para días a floración femenina

El Cuadro 12, presenta los valores de ACG y ACE para la floración femenina presentando una ACG con valores positivos las líneas P1, P3, P4 y P5. Las cruizas que presentaron valores positivos de ACE son P1xP2, P1xP4, P1xP5, P2xP3, P2xP4, P2xP6, P3xP5, P3xP6, P4xP7, P5xP6, P5xP7 y P6xP7.

Cuadro 12. Efectos de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica para la floración femenina.

PROGENITORES							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
P1	1.0857	0.6500	-1.0999	2.2000	0.5000	-2.1000	-0.1500
P2		-1.6642	1.6500	1.2000	-0.7500	0.6500	-3.4000
P3			1.3357	-0.5500	0.2500	0.1500	-0.4000
P4				0.5357	-2.9500	-0.3000	0.4000
P5					-1.5142	0.5000	2.4500
P6						1.0857	1.1000
P7							-0.8642

P1 = Pinto amarillo 24; P2 = Pinto amarillo 44; P3 = Pinto amarillo 48; P4 = Pinto amarillo 50; P5 = Pinto amarillo 1; P6 = Liebre 61; P7 = Blanco Hualauises su-98.

4.2.5. ACG y ACE para rendimiento

En el cuadro 13, se pueden apreciar los valores positivos y negativos de la ACG de las siete líneas y los valores de la ACE de las 21 cruzas para la variable de rendimiento. Las líneas con ACG positiva son P1, P2, P4, P5 y P6 mientras que las cruzas con valores mayores positivos fueron la P2xP6, P1xP5 y P2xP4. Las cruzas P1xP2, P1xP3 y P3xP7 por mencionar algunos presentaron valores negativos.

Cuadro 13. Valores de la aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica para rendimiento ha^{-1} .

	PROGENITORES						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
P1	0.0072	-0.0894	-0.1419	-0.5492	0.4974	0.0622	0.2384
P2		0.0183	-0.2974	0.3749	-0.4068	0.5849	-0.1661
P3			-0.0037	0.0442	0.3204	0.1157	-0.0630
P4				0.0578	0.1255	0.0174	0.0265
P5					0.1801	-0.6406	0.1040
P6						0.0063	-0.1398
P7							-0.2663

P1 = Pinto amarillo 24; P2 = Pinto amarillo 44; P3 = Pinto amarillo 48; P4 = Pinto amarillo 50; P5 = Pinto amarillo 1; P6 = Liebre 61; P7 = Blanco Hualauises su-98.

La cruce 1x5 presentó el mayor rendimiento de los híbridos experimentales; esto concuerda con lo propuesto por Escorcia-Gutiérrez *et al.*, (2010) quienes proponen que cuando en una cruce participa al menos una línea de alta ACG su rendimiento será alto. Otro criterio importante es que algunos autores reportan que los efectos aditivos (ACG), son los que constituyen el componente genético más importante para el rendimiento (De la Rosa *et al.*, 2006).

5. CONCLUSIONES

Se logró estimar en cinco variables experimentales la aptitud combinatoria general de siete líneas avanzadas S_4 provenientes de poblaciones criollas de maíz del Estado de Nuevo León; de igual forma se estimó la aptitud combinatoria específica de las 21 cruzas formadas con las siete líneas.

Una vez que se estimó la aptitud de los progenitores y de sus cruzas se identificó a los progenitores con mayor aptitud combinatoria general y sus cruzas o híbridos con mayor aptitud combinatoria específica. El progenitor con mayor aptitud combinatoria general para las variables altura de planta, altura de mazorca, floración masculina y floración femenina fue Pinto amarillo 48 y para la variable de rendimiento el progenitor Pinto amarillo 1.

Los híbridos con los mayores efectos de aptitud combinatoria específica fueron: para altura de planta Pinto amarillo 48 x Pinto amarillo Liebre 61, para altura a la mazorca Pinto amarillo 1 x Blanco Hualauises su-98, en la floración masculina Pinto amarillo 24 x Blanco Hualauises su-98, en floración femenina Pinto amarillo 1 x Blanco Hualauises su-98 y para rendimiento el híbrido Pinto amarillo 44 x Liebre 61.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre G., J. A., M. R. Bellon, and M. Smale. 2000. A regional analysis of maize biological diversity in southeastern Guanajuato, México. *Economic Botany*. 60-72.
- Amiruzzaman M., Md. Amirul I., L. Hasan, M. Kadir, and Md. Motiar R. 2013. Heterosis and combining ability in a diallel among elite inbred lines of maize (*Zea mays* L.). *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 132-137.
- Arellano V. J. L., I. Rojas M. y G. F. Gutiérrez H. 2013. Híbridos y variedades sintéticas de maíz azul para el Altiplano Central de México: potencial agronómico y estabilidad del rendimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4:(7). 999-1011.
- Bańziger M., P. S. Setimela, D. Hodson, and B Vivek. 2006. Breeding for improved abiotic stress tolerance in maize adapted to southern Africa. *Agricultural Water Management*. 212–224.
- Canales I, E.I.2010. Productividad de grano y semilla de híbridos trilineales, cruizas simples androesteriles y fertiles de maíz. 85 p.
- Cheng-lai W., L. Sheng-fu, D. Bing-xue, Z. Qian-qian and Z. Chun-qing. 2010. Determination of the Number of SSR Alleles Necessary for the Analysis of Genetic Relationships Between Maize Inbred Lines. *Agricultural Sciences in China*.1713-1725.

- D'Andrea K.E., M.E. Otegui, A.G. Cirilo, G.H. Eyhéabide. 2009. Ecophysiological traits in maize hybrids and their parental inbred lines: Phenotyping of responses to contrasting nitrogen supply levels. *Field Crops Research*. 147–158.
- De la Cruz Lázaro E., E. Gutiérrez del Río, A. Palomo G. y S. Rodríguez H. 2003. Aptitud Combinatoria y Heterosis de líneas de Maíz en la Comarca Lagunera. *Fitotecnia Mexicana*. 26 (4): 279 – 284.
- De Geus Y. N., A. S. Goggi, and L. M. Pollak. 2008. Seed quality of high protein corn in low input and conventional farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*. 541 550.
- De la Rosa L., A., H. de León C., F. Rincón S. y G. Martínez Z. 2006. Efectos genéticos, heterosis y diversidad genética entre híbridos comerciales de maíz adaptados a el bajío mexicano. *Fitotecnia Mexicana*. 247-254.
- Escorcia-Gutierrez N., J. D. Molina-Galán, F. Castillo-González y J. A. Mejía-Contreras. 2010. Rendimiento, heterosis y depresión endogámica de cruzas simples de Maíz. *Fitotecnia Mexicana*. 271-279.
- Espinosa-Calderón A., M. Tadeo-Robledo, A. Turrent-Fernández, M. Sierra-Macías, N. Gómez-Montie y B. Zamudio-González. 2013. Rendimiento de variedades precoces de Maíz grano amarillo para Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana*. 93-99.
- Fernández S., R., L. A. Morales C., y A. Gálvez M. 2013. Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 3-A: 275 - 283.

- Flores D, N. 2010. Comparación de criterios de selección de híbridos experimentales de sorgo para grano (*Sorghum bicolor* L. Moench.) para su liberación a la producción comercial. 120p.
- Griffing B. 1956. Concept of General and Specific Combining Ability in Relation to Diallel Crossing Systems. Australian Journal of Biological Sciences. 463 – 493.
- Gutiérrez del R., E., A. Palomo G., A. Espinoza B., y E. de la Cruz L. 2002. Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la Comarca Lagunera, México. Fitotecnia Mexicana. 271-277.
- Hernández C., J. M., y G. Esquivel E. 2004. Rendimiento de grano y características agronómicas en germoplasma de maíz de Valles Altos de México. Fitotecnia Mexicana. 27 – 31.
- Hochholdinger F., and N. Hoecker. 2007. Towards the molecular basis of heterosis. Trends in Plant Science. 427-432.
- INIFAP. (2012, Abril). Reporte Anual 2011 (en línea). Disponible: www.inifap.gob.mx/Documents/reportes/reporte_anual2011.pdf (consultado, 22 de enero 2014).
- Lippman Z. B., and D. Zamir. 2006. Heterosis: revisiting the magic. Trends in Genetics. 60-66.
- Louette D., A. Charrier, and J. Berthaud. 1997. In Situ conservation of maize in México: genetic diversity and maize seed management in a traditional community. Economic Botany. 51(1) 20-38.

- Lu Y., J. Yan, C. T. Guimaraes, S. Taba, Z. Hao, S. Gao, S. Chen, J. Li, S. Zhang, B. S. Vivek, C. Magorokosho, S. Mugo, D. Makumbi, S. N. Parentoni, T. Shah, T. Rong, J. H. Crouch, and Y. Xu. 2009. Molecular characterization of global maize breeding germplasm based on genome-wide single nucleotide polymorphisms. *Theor. Appl Genet.* 93–115.
- Márquez-Sánchez F. 2013. Endogamia en un sintético de maíz formado con familias de autohermanos (Líneas S₁). *Fitotecnia Mexicana.* 36(3) 259-261.
- Munaro E.M., G.H. Eyhéabide, K.E. D'Andrea, A.G. Cirilo, and M.E. Otegui. 2011. Heterosis × environment interaction in maize: What drives heterosis for grain yield?. *Field Crops Research.* 441–449.
- Nadal A. 2006. Mexico's corn-producing sector: A commentary. *Agriculture and Human Values.* 33-36.
- Ng D. W-K., J. Lu, and Z J. Chen. 2012. Big roles for small RNAs in polyploidy, hybrid vigor, and hybrid incompatibility. *Current opinion in plant biology.* 154-161.
- Olivares S.E. 1984. *Paquete de Diseños Experimentales.* Ed. FAUANL. Marín, N.L. México. sp.
- Olivares S. E. 2012. *Paquete de Diseños Experimentales. Nueva Version. 1.1 (Prueba).* Ed. FAUANL. Marín, N.L. México sp. emolivares@gmail.com
- Poehlman J. M., and Allen, S.D. 2005. *Mejoramiento Genético de las Cosechas. 2^a.* Ed. Guzmán O. M. Limusa Noriega Editores. México. Pp 337-347.

- Preciado-Ortiz R. E., S. García-Lara, S. Ortiz-Islas, A. Ortega-Corona, and S. O. Serna-Saldivar. 2013. Response of recurrent selection on yield, kernel oil content and fatty acid composition of subtropical maize populations. *Field Crops Research*. 27–35.
- Qi H., J. Huang, Q. Zheng, Y. Huang, R. Shao, L. Zhu, Z. Zhang, F. Qiu, G. Zhou, Y. Zheng, and B. Yue. 2013. Identification of combining ability loci for five yield-related traits in maize using a set of testcrosses with introgression lines. *Theor Appl Genet*. 126:369–377.
- Ramírez L., R. G., A. Enríquez M., F. Lozano G. 2001. Valor nutricional y degradabilidad ruminal del zacate buffel y nueve zacates nativos del NE de México. *Ciencia UANL*. 314-321
- Reyes, C. P. 1985. *Fitogenotecnia Básica y aplicada*. 1^a. Ed. AGT Editor, México. 460 p.
- Rodríguez-Pérez G., F. Zavala-García, C. Ojeda-Zacarías, A. Gutiérrez-Diez, J. E. Treviño-Ramírez y F. Rincón-Sánchez. 2012. Diversidad de maíces criollos de Nuevo León, México, mediante AFLP y caracteres morfológicos.. *Agronomía Mesoamericana*. 29-39.
- Run L., X. Lan-hai, W. Jing, L. Yan-li, R. Ting-zhao, P. Guang-tang, W. Yuan-qi, T. Qilin, L. Hai and C. Mo-ju. 2013. Combining Ability and Parent-Offspring Correlation of Maize (*Zea mays* L.) Grain β -Carotene Content with a Complete Diallel. *Journal of Integrative Agriculture*. 19-26.

- Sahagún-Castellanos J. y J. E. Rodríguez-Pérez. 2011. Endogamia de sintéticos formados con líneas y cruza simples. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17: 107-115.
- Sierra-Macías M., E. N. Becerra-Leor, A. Palafox-Caballero, S. Barrón-Freyre, O. Cano-Reyes, A. Zambada-Martínez, A. Sandoval-Rincón y J. Romero-Mora. 2004. Caracterización de Híbridos de Maíz (*Zea mays* L.) con Alta Calidad de Proteína por su Rendimiento y Tolerancia a Pudrición de Mazorca en el Sureste de México. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 268-276.
- Smith M. E., F. Castillo G., and F. Gómez. 2001. Participatory plant breeding with maize in Mexico and Honduras. *Euphytica*. 551–565.
- Sood S., S. Flint-García, M. C. Willcox, and J. B. Holland. 2014. Mining Natural Variation for Maize Improvement: Selection on Phenotypes and Genes. *Genomics of Plant Genetic Resources*. 615-649.
- Tiessen, F. A. 2012. *Fundamentos de mejoramiento genético vegetal*. 1ª. Ed. EAE Editorial, México. 500p.
- Tokatlidis I.S., and S.D. Koutroubas. 2004. A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability. *Field Crops Research*. 103–114.
- Valdivia-Bernal R., F. de J. Caro-Velarde., R. Medina-Torres., M. Ortiz-Catón., A. Espinosa-Calderón., V. A. Vidal-Martínez., y A. Ortega-Corona. 2010. Contribución genética del criollo jala en variedades eloteras de maíz. *Fitotecnia mexicana*. 33 (spe 4), 63-67.
- Varvel G. E. and W. W. Wilhelm. 2008. Cob Biomass Production in the Western Corn Belt. *Bioenerg*. 223–228.

- Vázquez-Carrillo G., S. García-Lara, Y. Salinas-Moreno, D. J. Bergvinson and N. Palacios-Rojas. 2011. Grain and Tortilla Quality in Landraces and Improved Maize Grown in the Highlands of Mexico. *Plant Foods Human Nutrition*. 203–208.
- Vielle C., Jean-Philippe. 2007. Decodificando el genoma del maíz en Guanajuato. *Ide@s CONCYTEG*. 824-831.
- Wong R., R., E. Gutiérrez del R., A. Palomo G., S. Rodríguez H., H. Córdova O., A. Espinoza B., y J. J. Lozano G. 2007. Aptitud Combinatoria de Componentes del Rendimiento en líneas de Maíz para grano en la Comarca Lagunera, México. *Fitotecnia Mexicana*. 181 – 189.
- Zhang M. Z., M. J. Zhao, H. P. Ding, T. Z. Rong and G. T. Pan. 2006. Quantitative Trait Loci Analysis of Plant Height and Ear Height in Maize (*Zea mays* L.). *Russian Journal of Genetics*. 306-310.