

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Aptitud combinatoria de cuatro líneas de maíz y sus cruzas

Por:

José Luis Tepetate Nopal

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Torreón, Coahuila, México
Marzo 2024

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

Aptitud combinatoria de cuatro líneas de maíz y sus cruzas

Por:

José Luis Tepetate Nopal

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO


Aprobado por:


Dr. Armando Espinoza Banda
Presidente


Dra. Oralia Antuna Grijalva
Vocal


Dr. Jorge Quiroz Mercado
Vocal


M.C. José Jaime Lozano García
Vocal suplente


Dr. J. Isabel Marquez Mendoza
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México

Marzo 2024

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Aptitud combinatoria de cuatro líneas de maíz y sus cruzas

Por:

José Luis Tepetate Nopal


TESIS


Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

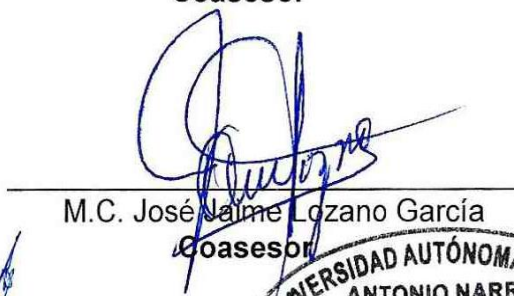
INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobado por el comité de asesoría:


Dr. Armando Espinoza Banda
Asesor Principal


Dra. Oralia Antuna Grijalva
Coasesor


Dr. Jorge Quiroz Mercado
Coasesor


M.C. José Jaime Lozano García
Coasesor


Dr. J. Isabel Márquez Mendoza
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México

Marzo 2024

AGRADECIMIENTOS.

A mi **Alma Mater**: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por permitirme formar parte de ella y contribuir a mis metas, sueños e ilusiones.

Con admiración y respeto al: **Dr. Armando Espinoza Banda**, por sus enseñanzas, su apoyo y confianza durante mi carrera.

A mis asesores: Dr. Armando Espinoza Banda, Dra. Oralia Antuna Grijalva, Dr. Jorge Quiróz Mercado, gracias por su apoyo y por ser parte de este trabajo.

A mis amigos; **José Manuel Canjay Gonzales, Florentino Peña Dedho**, Abraham Peña, Ameyali Peña Rodríguez, Jairo Peña Lugo, **al M.V.Z Fidencio Hernández Chacón** y **al M.V.Z Francisco Javier Peña Lugo**, por los momentos vividos, sus palabras de aliento y su apoyo, siempre estaré para ustedes.

A todos lo que alguna vez compartieron un momento conmigo y me brindaron apoyo; mi más profundo agradecimiento.

DEDICATORIAS.

A **Dios**: por la prueba y el permitirme superarla, gracias por la salud y todas las experiencias vividas en esta etapa académica.

A mis padres: **Juliana Nopal Huerta** y **José Luis Tepetate Oro**, por brindarme su apoyo absoluto, su amor incondicional y su fe en mis proyectos personales, los llevo en el corazón por más lejos que este de ustedes.

A mis hermanos: **Margarita Tepetate Nopal** y **Fernando Tepetate Nopal**, por tolerarme en cuanto a sus posibilidades y brindarme su cariño.

A **Daniela Hernández Chacón**: por todo su apoyo, en las buenas y en las malas, gracias.

RESUMEN.

El trabajo de investigación se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio (UAAAN), Unidad Laguna, en Torreón, Coahuila, México. El material genético consistió en seis cruzas simples, que se originaron a partir de cuatro líneas de maíz. Las seis cruzas se evaluaron en un diseño de bloques al azar con 12 tratamientos y tres repeticiones., en una parcela experimental de 2.6 m de largo de surco doble con una separación de 0.30 m y a una distancia entre pares de surco de 0.75 m. El espaciamiento entre planta y planta fue de 0.13 m. Se midieron las variables de rendimiento de grano (RG), diámetro de la mazorca (DM), longitud de mazorca (LM), número de hileras (NH) y número de granos por hilera (NG/H). El método para estimar el análisis de la ACG (aptitud combinatoria general) y ACE (aptitud combinatoria específica) de las cruzas simple, fue el método IV de Griffing (1956). Los efectos genéticos más importantes observados fueron los de ACG. Las líneas que mostraron los valores positivos y significativos en rendimiento de grano (Ren) fueron la Línea 2 y 3. En ACE la craza 2x3 presento los mejores efectos de ACE. El rendimiento de grano (RG) correlaciono positivamente con longitud de mazorca (LM).

Palabras clave: Cruzas dialéicas, Líneas endocriadas, Correlación

ÍNDICE DE CONTENIDO.

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIAS.....	ii
RESUMEN.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Hipótesis.....	2
II REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Cruzas dialélicas.....	3
2.2 Métodos de Griffing.....	4
2.3 Rendimiento.....	5
III MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
3.1 Localización geográfica y características del sitio experimental.....	8
3.2 Material genético.....	8
3.3 Diseño y parcela experimental.....	9
3.4 Manejo Agronómico.....	9
3.4.1 Preparación de terreno.....	9
3.4.2 Siembra.....	9
3.4.3 Manejo de cultivo.....	10
3.4.4 Control de malezas.....	10
3.4.5 Aporque.....	10
3.4.6 Fertilización.....	10
3.4.7 Riego.....	11
3.4.8 Cosecha.....	11
3.5 Variables evaluadas.....	11
3.5.1 Rendimiento de grano (RG).....	11
3.5.2 Constante de la superficie Cosechada (CSC).....	12
3.5.3 Diámetro de la mazorca (DM):.....	12

3.5.4 Longitud de la mazorca (LM).	12
3.5.5 Número de hileras (NH):	12
3.5.6 Número de granos por hilera (NG/H):	12
3.5.7 Análisis genético.	12
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
V CONCLUSIONES	21
VI LITERATURA CITADA	22

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 3. 1 Dialélico con cuatro líneas de maíz y seis cruzas simples. UAAAN- UL 2023.	9
Cuadro 3. 2 Control químico de maleza en seis cruzas simples de maíz.....	10
Cuadro 4. 1 Cuadros medios del análisis de varianza del Método IV de Griffing (1956) de seis cruzas simples de maíz.	14
Cuadro 4. 2 Valores medios de cinco variables de seis cruzas simples de maíz evaluadas UAAAN-UL.....	15
Cuadro 4. 3 Valores estimados de efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de cuatro líneas de maíz. UAAAN-UL.....	17
Cuadro 4. 4 Valores estimados de aptitud combinatoria especifica (ACE) en seis cruzas de maíz.....	19
Cuadro 4. 5 Coeficiente de correlación entre cinco variables cuantificadas en seis híbridos.	20

I INTRODUCCIÓN.

La viabilidad de la agricultura es fundamental para garantizar alimentos a la población. En este contexto, la seguridad alimentaria depende de varios factores, entre los que destacan el mantenimiento y fortalecimiento de un sistema de investigación y desarrollo de una manera incluyente, que sea capaz de proporcionar continuas mejoras en todos los aspectos de los sistemas productivos utilizados por los agricultores, que haga frente a la diversidad agroecológica, económica y social de un país (Tansey y Rajotte, 2009).

El desarrollo de híbridos de maíz es indudablemente una de las más refinadas y productivas innovaciones en el ámbito del fitomejoramiento; (Troyer y Wellin (2009); Lee y Tracy (2009) por lo tanto, la mejor forma de aumentar la producción del cultivo por unidad de superficie es mediante el desarrollo y utilización de híbridos de alto rendimiento; y, el primer paso para desarrollar este tipo de material es la obtención de líneas con alto grado de homocigocidad (Srinivasa *et al.*, 1993; Hallauer y Carena 2009).

En este sentido, el mejorador requiere ampliar la base genética del germoplasma y evaluarla para tener conocimiento amplio del tipo de acción génica de los materiales en estudio para los caracteres de mayor importancia económica, tales como el rendimiento. Lo anterior permitirá elegir el mejor esquema de mejoramiento que maximice la varianza genética y de esta forma incrementar y fijar la frecuencia de genes favorables en la población (Luna *et al.*, 2013; Houchuan *et al.*, 2014).

Los análisis dialélicos constituyen una herramienta útil para estimar los parámetros genéticos de los progenitores y sus cruzas mediante ACG y ACE que permiten definir el método de mejoramiento genético más adecuado (Wong *et al.*, 2007) y la evaluación y selección de líneas en generaciones tempranas (S_3) y/o generaciones avanzadas (S_{10}) que permiten encontrar la mejor combinación híbrida para explotar la heterosis. Generalmente, líneas con alta ACG en pruebas tempranas conservan su postura en generaciones avanzadas.

En este contexto, Griffing (1956) desarrolló cuatro métodos para evaluar ACG y ACE considerando: 1) los progenitores y sus cruzas F_1 directas y

recíprocas; 2) los progenitores y sus cruzas directas F_1 ; 3) las cruzas F_1 directas y recíprocas; 4) la evaluación de las cruzas F_1 directas únicamente.

1.1 Objetivos.

Evaluar y seleccionar las mejores cruzas con base a los efectos de ACG y ACE.

1.2 Hipótesis.

H_0 : Las cruzas presentan los mismos efectos de ACG y ACE.

H_a : Al menos una de las cruzas presenta efectos diferentes de ACG y ACE.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cruzas dialélicas.

Una condición esencial para la selección por heterosis es la evaluación del material de origen por su valor combinacional. El análisis de los resultados de la capacidad combinatoria permite optimizar el trabajo con el material genético y seleccionar los mejores componentes para obtener nuevos híbridos altamente heteróticos. La información más completa sobre la capacidad de combinación de las formas reproductivas se obtiene en el sistema de cruces dialélicos (Gutorova *et al.*, 2022).

Para obtener la información más precisa sobre la capacidad de combinación, se utilizan cruces dialélicos. Cabe señalar que la manifestación de CA está influenciada por las condiciones de crecimiento de las plantas. El rendimiento de grano de maíz por unidad de superficie está relacionado con los rasgos en la mazorca como número de hileras y número de granos en una hilera de mazorca. La manifestación cuantitativa de este rasgo está significativamente influenciada por las condiciones ambientales como la disponibilidad de humedad y nutrientes (Zaitsev *et al.*, 2021).

La cruce dialélica parcial se ha utilizado principalmente para estimar parámetros genéticos en híbridos de cruce simple formados con líneas endogámicas derivadas de la misma población evaluadas en un diseño experimental de bloques completos al azar, bajo la consideración de un modelo genético de efectos fijos, pero otros, han desarrollado otra

metodología para analizar un dialélico parcial formado con dos grupos de líneas o progenitores genéticamente contrastantes; Jasso *et al.* (2022) realizaron cruzamientos entre material exótico y genotipos adaptados localmente.

Los programas de mejoramiento genético dedicados a la formación de híbridos y variedades comerciales de maíz requieren generar nuevas líneas con alto potencial de rendimiento, buen comportamiento agronómico y buena aptitud combinatoria. Se ha encontrado que las líneas que reúnen estas características presentan resultados satisfactorios (Cieza *et al.*, 2020).

2.2 Métodos de Griffing

Un método de análisis actualmente disponible para conocer el tipo de acción genética de las líneas parentales es el diseño de apareamiento de cruces dialélicas propuesto por Griffing (1956). Involucra todos los cruces posibles entre diferentes padres, e identifica las mejores combinaciones superiores y los mejores padres, para diseñar los métodos de mejora más eficientes. Los cruces dialélicos contemplan cuatro métodos que permiten cuantificar de GCA y SCA (Meza *et al.* 2011).

El éxito del desarrollo de un híbrido de maíz de alto rendimiento y ampliamente adaptado dependerá de la capacidad de combinación de los cruces parentales. Por lo tanto, un estudio de capacidad combinatoria es imperativo para determinar los padres y cruces, y también proporciona información sobre la naturaleza de la variación genética presente en el

material en estudio. Griffing (1956), sugirió el análisis de cruces dialélicos para estimar la capacidad combinatoria de los padres en los híbridos; desde entonces sigue siendo ampliamente defendido por los fitomejoradores. Así se puede obtener un mayor rendimiento del maíz aprovechando la heterosis (Ismail *et al.* 2023).

Los diseños dialélicos se definen como un conjunto de cruzamientos simples entre un grupo de n progenitores, que permiten estimar los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE), efectos recíprocos, maternos y no maternos. La proporción relativa de la suma de cuadrados de efectos recíprocos, ACG y ACE en relación con la suma de cuadrados de cruces, indica la proporción de influencia de cada tipo de acción génica sobre la variación del germoplasma evaluado, donde la ACG es asociada a efectos aditivos, mientras que los efectos no aditivos se asocian a efectos de ACE y recíprocos, estos últimos son resultado de efectos maternos y no maternos (Hernández *et al.* 2023).

2.3 Rendimiento.

Los componentes del rendimiento del maíz están determinados por características biométricas de la mazorca (longitud y diámetro de la mazorca, número de hileras y número de granos por hilera), número de mazorcas por planta, peso de mil granos, etc. Al respecto, diversos autores observaron una mayor correlación positiva entre el rendimiento y el peso de mazorca, peso de grano y longitud de mazorca, de igual manera, identificaron una correlación positiva y significativa entre el rendimiento y la longitud y diámetro

de mazorca, así como también encontraron correlación positiva entre el rendimiento y los componentes de producción; sin embargo, Cieza *et al.* (2020) obtuvieron diferentes resultados al presentar una correlación positiva entre el rendimiento y la floración.

El rendimiento y las propiedades físicas y químicas del grano de maíz son influenciados por el híbrido(G), ambiente (A) y la interacción G×A. Se han evaluado diferentes híbridos para conocer su adaptabilidad y estabilidad para rendimiento, características fisicoquímicas del grano y la calidad de la tortilla en condiciones ambientales contrastantes (Vázquez *et al.* 2020).

El mejoramiento del maíz se puede dar mediante el aumento de la frecuencia de genes favorables en comparación con la población original y el desarrollo de híbridos es una población F1 con vigor; sin embargo, también se reconoce el desarrollo de híbridos como alternativa al mejoramiento de poblaciones de maíz en donde el tipo de semilla que se produce presenta un rendimiento de grano superior a sus padres como consecuencia de la heterosis, la cual ofrece un potencial heterótico en los germoplasmas que permitirán establecer el desarrollo de trabajos, sea para las variedades (poblaciones mejoradas) o en híbridos (Clemente *et al.*, 2022).

Pese a décadas de investigación en el desarrollo de germoplasma mejorado de maíz, aún se obtienen bajos rendimientos, consecuencia directa de factores climáticos, poca fertilidad del suelo, manejo agronómico inadecuado o porque no se dispone del material genético más adecuado en la región.

Esto debido a que cada híbrido tiene características propias de rendimiento y adaptación, que marcan su diferencia (Guamán *et al.*, 2020).

III MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio (UAAAN), Unidad Laguna, en Torreón, Coahuila, México.

3.1 Localización geográfica y características del sitio experimental.

El campo experimental se localizó geográficamente en las coordenadas 103°26 33" O, 25°32 40" N y una altitud de 1,120 mnsn, teniendo clima seco, semicálido, precipitación media anual de 225 mm, temperatura media anual de 20 a 22.3 °C y suelo de textura migajón arcillosa con bajos contenidos de materia orgánica (Cervantes & Franco et al., 2006).

3.2 Material genético.

En el Cuadro se muestran las seis cruzas simples que se originaron a partir de cuatro líneas de maíz. El número de cruzas simples posibles o dialélicas (Reyes, 1985), se calculó conforme a la siguiente expresión:

$$CP = \frac{P(P - 1)}{2}$$

Donde:

CP =Cruzas posibles y P = número de progenitores.

Las líneas fueron cruzas en el diseño IV de Griffing (1956).

Cuadro 3. 1 Dialélico con cuatro líneas de maíz y seis cruzas simples. UAAAN-UL 2023.

Líneas	EN-04-2 (1)	EN-05-12 (2)	EN-06-12 (3)	EN-06-16 (4)
(1)EN-04-2	(X)	EN-04-2XEN-05-12	EN-04-2XEN-06-12	EN-04-2XEN-06-16
(2)EN-05-12		(X)	EN-05-12XEN-06-12	EN-05-12XEN-06-16
(3)EN-06-12			(X)	EN-06-12XEN-06-16
(4)EN-06-16				(X)

3.3 Diseño y parcela experimental.

Las seis cruzas se evaluaron en un diseño de bloques al azar con 12 tratamientos y tres repeticiones., en una parcela experimental de 2.6 m de largo de surco doble con una separación de 0.30 m y a una distancia entre pares de surco de 0.75 m. El espaciamiento entre planta y planta fue de 0.13 m.

3.4 Manejo Agronómico.

3.4.1 Preparación de terreno.

El terreno donde se ubicó el ensayo se preparó mecánicamente empleando el método recomendado para la región.

3.4.2 Siembra.

El día 01 de marzo del 2023, se realizó la siembra en forma manual y en suelo seco, depositando dos semillas por punto a una distancia de 0.13 m entre planta, para una densidad de 146,520 plantas hectárea.

3.4.3 Manejo de cultivo.

A los 20 días de después de la siembra se realizó un aclareo en cada una de las parcelas, dejando 20 plantas por surco.

3.4.4 Control de malezas.

El control químico de malezas se describe en el cuadro 3.2.

Cuadro 3. 2 Control químico de maleza en seis cruzas simples de maíz

Nombre comercial	Ingrediente activo	Dosis (ha ⁻¹)
Hierbamina	Sal dimetilamina del ácido 2,4-Diclorofenoxiacético	1.00 L
Elumis	mesotrione: 2-(4-Mesil-2-nitrobenzoil)-ciclohexano-1,3-diona	75 g (en 1L)
Sansón	nicosulfuron: 2-(4,6-dimetoxipirimidin-2-ilcarbomoilsulfamoil)-N, Ndimetilnicotinamida	1.00 L

3.4.5 Aporque.

Fueron realizados dos aporques, el primero un mes después de la siembra con paso de maquinaria y el segundo se hizo 15 días después con un cultivador de forma manual.

3.4.6 Fertilización.

Se fertilizó conforme a la fórmula 250-150-00, recomendada para la región. El fósforo se aplicó en una sola oportunidad, al momento de la siembra, más 25 unidades de nitrógeno, posteriormente, durante el ciclo vegetativo del

cultivo se agregó el resto del nitrógeno. Se usó como fuente de nitrógeno: urea (46% de N), y de fósforo: fosfato diamónico (18-46-00).

3.4.7 Riego.

El riego se aplicó con cintilla de un calibre 6000, con emisores a cada 20 cm con un gasto de 1L hr¹.

3.4.8 Cosecha.

Una vez alcanzada a la madurez fisiológica del cultivo se procedió a cosechar todas las mazorcas de cada parcela.

3.5 Variables evaluadas.

Las variables agronómicas evaluadas fueron:

3.5.1 Rendimiento de grano (RG).

Se expreso en kilogramos ha⁻¹. Para estimar el rendimiento de grano se utilizó la siguiente metodología:

$$RG = \frac{Pg * Csc * Fh}{100}$$

Donde:

RG = rendimiento de grano

Pg = peso de grano

Csc = constante de la superficie cosechada

Fh = factor de humedad

3.5.2 Constante de la superficie Cosechada (CSC)

La constante de la superficie cosechada se estimó con la siguiente fórmula:

$$CSC = \left(\frac{10000}{1000}\right) / Sc$$

Donde:

Sc: superficie cosechada.

3.5.3 Diámetro de la mazorca (DM):

Se expreso en centímetros y se determinó midiendo el diámetro de la parte central de la mazorca.

3.5.4 Longitud de la mazorca (LM).

Se seleccionaron mazorcas al azar de cada una de las parcelas cosechadas y se midió la longitud de la base al ápice en la mazorca y se expresó en centímetros.

3.5.5 Número de hileras (NH):

Se cuantifico el número de hileras de grano en la parte central de cada una de las mazorcas cosechadas.

3.5.6 Número de granos por hilera (NG/H):

Después de determinar el número de hileras por mazorca, se procedió a contar el número de granos por hilera, obteniéndose un promedio de las mazorcas cosechadas de cada una de las parcelas.

3.5.7 Análisis genético.

El método para estimar el análisis de la ACG (aptitud combinatoria general) y ACE (aptitud combinatoria específica) de las cruza simple, fue el método

IV de Griffing (1956) el cual solo evalúa las cruzas directas F_1 . El modelo utilizado fue el siguiente:

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

donde:

Y_{ij} = es el valor fenotípico observado de la craza con progenitores i y j ;

μ = media de la general.

g_i y g_j = efecto de la ACG del i -ésimo y j -ésimo padre o línea.

S_{ij} = efecto de la ACE del cruce entre el i -ésimo y el j -ésimo padre o línea.

e_{ijk} = Es el error medio aleatorio asociado a los tratamientos ó cruzas.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza para las seis cruza simples de acuerdo con el método IV de Griffing (1956) y los valores estimados de ACG y ACE se muestran en el Cuadro 4.1. En la fuente de variación tratamientos, las variables rendimiento de grano, número de hileras y número de granos por hilera fueron altamente significativos ($P \leq 0.01$). En diámetro de mazorca y longitud de mazorca no se encontraron diferencias significativas.

Se tuvieron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en ACG para rendimiento de grano, número de hileras y número de granos por hilera ($P \leq 0.05$). Diámetro de la mazorca y longitud de mazorca fueron no significativa estadísticamente, lo cual podrá explicarse por una baja acumulación aditiva de genes (Arce, 2013).

Para la fuente de variación ACE se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para la variable número de granos por hilera, el resto de las variables fueron no significativos. Los efectos de dominancia se expresaron únicamente en la variable de número de granos por hilera (Arce, 2013).

Cuadro 4. 1 Cuadrados medios del análisis de varianza del Método IV de Griffing (1956) de seis cruza simples de maíz.

FV	gl	RG	DM	LM	NH	NG/H
Rep.	2	24309.75 ns	4.172 ns	906.022	0.722 ns	0.389 ns
Trat.	5	10805202.57 **	6.400 ns	79.768 ns	8.889 **	19.256**
ACG	3	5796023.70**	1.696ns	30.442 ns	3.853 **	6.019 *
ACE	2	310514.45 ns	2.789ns	22.840 ns	0.523 ns	7.019 *
E.E	10	236403.49	4.988	103.278	0.856	2.122
Total	17					

** , * , ns = Diferencias estadísticas con $P \leq 0.01$, $P \leq 0.05$ y no significativo, respectivamente; RG= Rendimiento de grano, DM=Diámetro de mazorca, LM=Longitud de Mazorca, NH= Numero de hilera, NG/H=Numero de granos por hilera.

En el Cuadro 4.2, se presentan los valores medios de las variables estudiadas ordenadas de acuerdo con la cruz de mayor rendimiento de grano. La cruz 2x3 presentó el mayor rendimiento de grano con 10852 kg ha⁻¹ significativamente igual a la cruz 2x4 con 9691 kg ha⁻¹ y diferente al resto de las cruzas.

Las cruzas presentaron un comportamiento similar en las variables de diámetro y longitud de mazorca, en número de hileras la cruz 1x2 mostró significativamente el valor máximo con 19.3 seguida de las cruzas 1x4 y 2x4 con 17.7 y 16.7 hileras por mazorca. Respecto a la variable número de granos por hilera cuatro de las cruzas muestra los valores promedio más altos y significativamente iguales con valores de 33.7, 33.7, 33.3 y 30.3 para las cruzas 1x2, 1x3, 2x3 y 2x4 respectivamente.

Cuadro 4. 2 Valores medios de cinco variables de seis cruzas simples de maíz evaluadas UAAAN-UL.

Cruza	RG	DM	LM	NH	NG/H
2x3	10852.3a†	47.5a	24.8a	15.3bc	33.3a
2x4	9691.9ab	44.2a	22.8a	16.7ab	30.3ab
3x4	8760.6bc	44.1a	22.8a	14.7c	27.7b
1x3	7609.7cd	45.3a	13.8a	15.7bc	33.7a
1x2	6965.4de	47.2a	13.6aa	19.3a	33.7a
1x4	5635.3e	45.7a	23.9a	17.7a	29.7b
Tukey (5%)	1378.3	4.13		2.6	4.13

Tukey= significativo al 0.05 de probabilidad † Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales al 0.05 de probabilidad. RG= Rendimiento de grano, DM=Diámetro de mazorca, LM=Longitud de Mazorca, NH= Numero de hilera, NG/H=Numero de granos por hilera.

Los valores de la aptitud combinatoria general (ACG) de cuatro líneas se muestran en el Cuadro 4.3. La línea 2 y 3 presentaron los mayores efectos con 917.32 y 821.68 respectivamente. De igual forma se observó que estas líneas intervinieron en las cruzas de mayor rendimiento. Estos resultados encontrados coinciden con Díaz (1988), Reyes *et al.* (2004) y Escorcía *et al.* (2010) quienes encontraron que en las cruzas de mayor rendimiento interviene al menos una línea de alta aptitud combinatoria general.

Los menores efectos de ACG fueron en las líneas 1 y 2 que presentaron valores negativos de -1515.77 y -223.24 respectivamente. Se observa también que estas líneas produjeron cruzas con bajos rendimientos. Lo anterior concuerda con autores como Reyes *et al.* (2004) y Escorcía *et al.* (2010) quienes señalan que en las cruzas de menor rendimiento participa cuando menos una de las líneas de baja ACG.

En diámetro de mazorca la línea 2 tuvo efectos positivos de ACG (0.62), mientras que el resto de las líneas fueron clasificadas como de baja ACG.

Las líneas 2, 3 y 4 presentaron efectos favorables de ACG en la variable de longitud de mazorca y en número de granos por hilera las líneas 1 y 2 fueron las de mayor efecto positivo. En número de hileras nuevamente las líneas 1 y 2 se ubicaron dentro del grupo que presentaron los mejores efectos positiva de ACG.

Las líneas que presentaron efectos negativos y significativos diferentes de cero; fueron en la línea 1 y 4 en rendimiento y número de granos por hilera

únicamente la línea 4. Las líneas 3 y 4 fueron negativas en número de hileras NH; en tanto que la línea 1 mostro un solo un valor negativo para longitud de mazorca. Los valores negativos que se observan en las líneas 1 y 4 indican probablemente que estos genotipos no serán candidatos a seleccionarse para la formación de híbridos (Estrada, 2010).

Cuadro 4. 3 Valores estimados de efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de cuatro líneas de maíz. UAAAN-UL.

Líneas	Ren	DM	LM	NH	NG/H
1	-1515.77*	0.42	- 3.18*	1.00*	0.94*
2	917.32*	0.62	0.12	0.53*	1.06*
3	821.68*	- 0.04	0.18	- 1.33*	0.17
4	-223.24*	- 1.00	2.88	- 0.20	- 2.17*

*= Valores significativamente diferentes de cero; Ren= Rendimiento de grano, DM=Diámetro de mazorca, LM=Longitud de Mazorca, NH= Numero de hilera, NG/H=Numero de granos por hilera.

El Cuadro 4.4 nos muestra la aptitud combinatoria específica (ACE) de las seis cruzas generadas entre cuatro líneas. Para rendimiento de grano (Ren), las cruzas 2x3, 2x4 y 3x4 presentaron efectos favorables de ACE, indicando que estas cruzas pueden generar híbridos sobresalientes en esta característica agronómica (Estrada, 2010). De los progenitores que intervinieron en las cruzas con mayores efectos de ACE, sólo dos progenitores (2 y 3) tuvieron efectos positivos de ACE con 917.32 y 821.68 respectivamente. Al comparar los efectos de ACE en diámetro de mazorca, se observa que las cruzas 1x2, 1x4 y 2x3 presentaron los mayores efectos de ACE con valores de 2.58, 0.10 y 1.83 respectivamente. Sin embargo, las cruzas 1x2 y 1x4 no figuran en el grupo sobresaliente de rendimiento de grano. En el caso de la craza 2x3 presento un alto rendimiento, y también se observa que intervinieron dos líneas de alta ACG, estos resultados coinciden con Reyes *et al.* (2004) quien señala que una craza de alto rendimiento puede ser con dos líneas de alta ACG o al menos una línea de alta ACG pero el efecto de ACE de la craza es alto y positivo.

En longitud de mazorca las cruzas 1x4, 2x3 y 2x4 presentaron efectos positivos aceptables de ACE, se observa nuevamente que las líneas 2 y 3 procrearon híbridos que expresaron buenos efectos de ACE para este carácter.

La craza 1x2 (4.30) y 1x4 (1.14) presentaron efectos positivos de ACE, el resto de las cruzas tuvieron efectos negativos. En número de granos por hilera tres cruzas presentaron efectos positivos de ACE: 1x2, 1x3 y 2x3 con

4.28, 2.17 y 2x3 respectivamente. Los efectos negativos de ACE fueron en las cruzas 1x4, 2x4 y 3x4. Se observa que la cruza 3x4 presento efectos negativos en esta variable, sin embargo, fue la tercera cruza que se ubicó el grupo de materiales sobresaliente en rendimiento promedio de grano.

Cuadro 4. 4 Valores estimados de aptitud combinatoria especifica (ACE) en seis cruzas de maíz.

Cruzas	Ren	DM	LM	NH	NG/H
1x2	-1885.77	2.58	-9.80	4.30	4.28
1x3	-1336.92	-0.57	-9.80	-0.39	2.17
1x4	-4356.27	0.10	3.60	1.14	-1.72
2x3	4338.73	1.83	4.50	-1.26	1.94
2x4	2133.52	-1.30	5.80	-0.36	-0.94
3x4	1106.50	-2.64	5.57	-3.42	-5.72

Ren= Rendimiento de grano, DM=Diámetro de mazorca, LM=Longitud de Mazorca, NH= Número de hilera, NG/H=Número de granos por hilera.

En el Cuadro 4.5 se expresan las correlaciones que existen entre las cinco variables, donde el coeficiente de correlación (r) oscila de -1.0 a +1.0. Si el valor de r se aproxima a, menos relación ó asociación existirá entre las variables que se estén comparando (Cochran, & Cox et al., 1995).

El rendimiento de grano (Ren) correlaciona positiva y significativamente con la longitud de la mazorca (LM) y negativamente con el número de hileras (NH), lo cual se interpreta que el Ren depende más de la LM que del resto.

En cuanto a diámetro de mazorca (DM) correlacionó positivamente con el número de granos por hilera (NG/H) y en la longitud de la mazorca (LM) correlaciona negativa y significativamente con el número de hileras (NH) y número de granos por hilera (NG/H). Estos resultados están sujetos a eventos causales.

Cuadro 4. 5 Coeficiente de correlación entre cinco variables cuantificadas en seis híbridos.

	Ren	DM	LM	NH	NG/H
Ren		0.002	0.924**	-0.615*	0.062
DM			-0.207	0.401	0.739**
LM				-0.602*	-0.563*
NH					0.311
NG/H					

*, **=Significativos al 0.05 y 0.01 de probabilidad. Ren= Rendimiento de grano, DM=Diámetro de mazorca, LM=Longitud de Mazorca, NH= Numero de hilera, NG/H=Numero de granos por hilera.

V CONCLUSIONES

De la evaluación de seis cruzas dialélicas entre cuatro líneas endocriadas de maíz se concluye:

- Diferencias significativas para tratamientos (Trat) para las variables Ren, NH y NH/H.
- Los efectos más importantes observados en el presente trabajo fueron los de ACG.
- Las líneas que mostraron los valores positivos y significativos para rendimiento de grano (Ren) fueron la Línea 2 y 3.
- La cruza 2x3 (EN-05-12 x EN-06-12) presentó el mayor valor de ACE.
- El Ren correlacionó positivamente con la LM.

VI LITERATURA CITADA

- Arce R. A. C. (2013). Caracterización agronómica y aptitud combinatoria de poblaciones de maíz del sureste del Estado de México (Tesis de Maestría).
- Cervantes, M. C., & Franco, A. M. (2006). Diagnóstico ambiental de la Comarca Lagunera. In Á. López López y R. Carmona Mares (Presidencia), Foro Interdisciplinario sobre la Comarca Lagunera. Simposio llevado a cabo en la sede de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, Ciudad de México, México.
- Cieza, I., Jara, T. W., Terrones, R., Figueroa, Y. C., & Valdera, A. (2020). Agronomic traits, production components and grain yield of corn hybrids (*Zea mays* L). *Manglar*, 17(3), 261-267.
- Clemente, A., Meneses, M. H., & Rodríguez, C. (2022). Evaluación del rendimiento de híbridos provenientes de líneas endocriadas de maíz criollo (*Zea mays*) del departamento del Magdalena. *Intropica*, 88-96. <https://doi.org/10.21676/23897864.4039>
- Cochran, W. G., & Cox, G. M. (1995). Diseños experimentales.
- Díaz H C (1988) Cruzas dialélicas parciales entre líneas de maíz de alto rendimiento del trópico y del Bajío.
- Escorcía-Gutiérrez, N., Molina-Galán, J. D., Castillo-González, F., & Mejía-Contreras, J. A. (2010). Rendimiento, heterosis y depresión endogámica de cruza simples de maíz. *Revista fitotecnia mexicana*, 33(3), 271-279.
- Estrada S A. (2010) Aptitud combinatoria general y específica de líneas de maíz para tolerancia a sequía y a *fusarium spp.*, usando probadores.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9(4):463-493.

- Guamán, R. N., Desiderio, T. X., Villavicencio, Á. F., Ulloa, S. M., & Romero, E. J. (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea Mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra*, 7(2), 047-056.
- Gutorova, S. A., Matyushin, Lyovkina, A. Y., & Babushkin, D. D. (2022). Evaluation of experimental corn hybrids on the development of morphometric parameters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1045(1), 012012.
- Hallauer A. R. and Carena M. J. (2009) In "Cereals", (Ed.: M. J Carena), Springer, USA, pp. 3-98.
- Haochuan, L., T. Jihua, H. Yanmin, Y. Jiwey, and L. Zonghua. 2014. Analysis on combining ability and estimation of genetic parameters for chlorophyll content in maize. *J. Plant Breed. Crop Sci.* 6(8):97-104.
- Hernández, A., López, J. A., Estrada, B., Reséndiz, Z., Coronado, J. M., & Malvar, R. A. (2023). Aptitud combinatoria y efectos recíprocos de la precocidad en poblaciones nativas de maíz de Tamaulipas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(2), 171-183.
- Ismail, M. R., Aboyousef, H., Abdel, M. M., Afife, A. A., & Shalof. (2023). Diallel analysis of maize inbred lines for estimating superiority and combining ability. *African Crop Science Journal*, 31(4), 417-425.
- Jasso, G., González, A., De Jesús Pérez, D., Franco, J. R., Rubí, M., & Mejía, J. (2022). Uso de OpStat para validar resultados en un dialélico parcial con ocho líneas de maíz evaluadas en un ambiente. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(1), 41-52
- Lee E. A., and W. F. Tracy (2009) In "Handbook of Maize: Genetics and Genomics", (Ed.: J. L. Bennetzen, S. Hake), Springer, pp. 141-160.
- Luna, O.J., J.L.H. García, R.D.C. Valdés, M.A.R. Gallegos, P.R. Preciado, C.G. Guerrero, et al. 2013. Aptitud combinatoria y sus componentes genéticos en líneas de maíz. *Universidad y Ciencia* 29(3):243-253.

- Meza, P. A., López, C. J, Sierra, M., López, G., Leyva, O. R, Palafox, A., & Rodríguez, F. A (2011). Combinación en líneas de maíz mediante un cruce dialelo. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales*, 13 (3),525-532.
- Reyes, C. P. 1985. *Fitogenotecnia Básica y aplicada*. 1a . Ed. AGT Editor, México. 460 p.
- Reyes, D., Molina, J. D., Oropeza, M. A., & del Carmen Moreno, E. (2004). Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza Tuxpeño. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(1), 49-56.
- Srinivasan G. S., Vasal, F. G. Ceniceros, H. Córdova, S. Pandey, N. Vergara (1993) “Rendimiento y estabilidad de híbridos de maíz de cruza simples evaluadas en Colombia, México y Centro América”, *Agronomía Mesoamericana* 4, 23-29.
- Tansey, G., y T. Rajotte. 2009. *El Control Futuro de los Alimentos*. 312 p. Mundi Prensa, Madrid, España.
- Troyer A. F., and Wellin E. J. (2009) “Heterosis decreasing in hybrids: yield test inbreds”, *Crop Sci.* 49(6), 1969-1976.
- Vázquez, M. G., Martínez, A., González, B. Z., Espinosa, A., Tadeo, M., & Fernández, A. T. (2020). Estabilidad de rendimiento y características fisicoquímicas de grano de híbridos de maíz en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8), 1803-1814.
- Wong, R.R., E. Gutiérrez R., E.; A. Palomo G, S. Rodríguez, H. Córdoba, A.B. Espinoza, 2007. Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la Comarca Lagunera, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 30(2):181-189
- Zaitsev, C. A., Volkov, Guseva, & Babushkin, D. (2021). Genetic control of the number of grains on corn COB. *E3S web of conferences*, 254, 01031. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125401031>