

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Estimación de Heredabilidad en Componentes de Rendimiento para un
Grupo de Maíz Enano

Por:

BERNARDINO AMADO AMADOR

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Marzo de 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Estimación de Heredabilidad en Componentes de Rendimiento para un
Grupo de Maíz Enano

Por:

BERNARDINO AMADO AMADOR

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Humberto De León Castillo

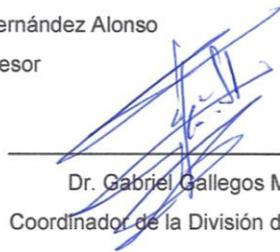
Asesor Principal


M.C. Eduardo Hernández Alonso

Coasesor


Ing. Raúl Gándara Huitrón

Coasesor


Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Marzo del 2018

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Humberto de León Castillo

Por permitir realizar este trabajo de investigación, además de compartir sus conocimientos y por concederme gran parte de su valioso tiempo en el asesoramiento, así como también su apoyo y supervisión durante el desarrollo del trabajo de investigación.

Al M.C. Eduardo Hernández Alonso

Por su constante asesoría y supervisión en lo estadístico e importante participación para la realización de esta tesis, así como también sus oportunas sugerencias y comentarios.

Al Instituto Mexicano del Maíz

A todo su personal técnico y de campo que contribuyeron de alguna manera directa o indirecta en la realización de este trabajo de investigación.

A Mi **ALMA TERRA MATER** por haberme dado la oportunidad de formarme en sus aulas y realizarme como Ingeniero Agrónomo en Producción.

DEDICATORIA

A Dios: por estar conmigo y por permitir alcanzar mi meta en la vida profesional

A mis padres:

Isidro Amado Trujillo

Pascuala Amador García

Por darme lo más valioso en este mundo, la vida, que con su sacrificio, desvelos, consejos supieron guiarme y para lograr lo que soy, y a quienes con el presente trabajo brindo un pequeño atributo de admiración, amor y respeto.

A mis hermanos:

Isidro, Claudia, Feliciano, Eleuterio, Juventina, Leticia

Quienes han compartido hermosos y amargos momentos en la vida conmigo y que han sido la motivación para que yo pueda seguir adelante y alcanzar unas de mis metas en la vida.

A mis amigos

Manuel Cruz, Gamaliel Morales, S. Lisbeth, Camilo Basurto

RESUMEN

Se evaluaron 20 híbridos de maíz enano y sus parentales con el método I modelo 2 de Griffing (1956) en Buenas Vista, Saltillo, México en 2015 con los siguientes objetivos i) estimar los componentes de varianza y heredabilidad en las variables; peso hectolítrico, diámetro de mazorca, diámetro de olote y longitud de mazorca, exhibida en los cruzamientos del grupo germoplásmico ii) obtener y evaluar los cruzamientos dialélicos entre cinco líneas y con base en los efectos de aptitud combinatoria general y específica detectar líneas con ventajas agronómicas. Para lograr estos objetivos se sometió a ensayos de rendimiento el dialélico entre las líneas involucradas mismo que se evaluó en dos ambientes en 2015 donde cada unidad experimental consistió en un surco de 3.84 m, separados a 0.80 m y 8.59 cm entre plantas. Los resultados del análisis dialélico indicaron que fue funcional en la exploración y caracterización genética de las líneas donde se encontraron heredabilidades intermedias y bajas en las cuatro variables estudiadas por lo tanto, se podrá emplear selección recurrente con dos métodos diferentes que son estructura de hermanos completos para para heredabilidades intermedias y progenies endogámicas para caracteres con heredabilidades bajas. Además, se encontró dos líneas con alta capacidad de aptitud combinatoria general que son la línea 1 y la línea 2. En general no se detectaron efectos maternos ni recíprocos para las variables evaluadas.

Palabras clave: Maíz enano, heredabilidad y efectos genéticos

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA.....	ii
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos:.....	3
Hipótesis:	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
Importancia de longitud y diámetro de mazorca.....	4
Importancia del olote	5
Peso hectolítrico.....	6
Aptitud Combinatoria General y Específica.....	7
Diseños dialélicos	10
Heredabilidad	11
Diseños de apareamiento	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
Material Genético.....	15
Ubicación del Sitio Experimental	16
Diseño experimental	16
Fertilización	17
Riegos.....	17
Labores culturales.....	17
Control de malezas.....	18
Control de plagas	18
Cosecha.....	18
Variables estudiadas.....	18
Análisis de datos agronómicos	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
V. CONCLUSIÓN.....	38
BIBLIOGRAFÍA CITADA	39

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1. Genealogía de las líneas utilizadas en este trabajo de investigación	15
Cuadro 3.2. Localización geográfica y condiciones agroecológicas de los ambientes de evaluación utilizadas en este estudio	16
Cuadro 3.3. Estructura del análisis genético combinado a través de ambientes del modelo I de Griffing.	23
Cuadro 4. 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de 20 híbridos formados a partir de 5 líneas, considerando cruzas directas y recíprocas.	25
Cuadro 4. 2. Cuadrados medios y parámetros genéticos del análisis dialélico de 20 híbridos formados a partir de 5 líneas considerando cruzas directas y recíprocas en dos ambientes.	28
Cuadro 4.3. Concentración de efectos directos (ACG), obtenidos a través del diseño dialélico de Griffing modelo 2, método 3 de cuatro variables agronómicas de 10 cruzas en F_1	30
Cuadro 4.4. Concentración de efectos directos (ACE), obtenidos a través del diseño dialélico de Griffing modelo 2 método 3 de cuatro variables agronómicas de 10 cruzas F_1	32
Cuadro 4.5. Resumen de Efectos maternos (EM), obtenidos a través de diseño dialélico de Griffing modelo 2, método 3 de las 4 variables agronómicas de 10 cruzas en F_1	32
Cuadro 4.6. Concentración de efectos recíprocos (ER), obtenidos a través de diseño dialélico de Griffing modelo 2, método 3 de las 4 variables agronómicas de 10 cruzas F_1	33
Cuadro 4.7. Estimación de efectos no maternos (ENM), obtenidos a través del diseño de dialélico de Griffing modelo 2, método 3 de las 4 variables agronómicas de 10 cruzas en F_1	34
Cuadro 4.8. Cuadro 4.8 Concentración de medias de las cuatro variables evaluadas obtenidos a través del diseño de dialélico de Griffing modelo 2, método 3.	35
Cuadro 4.9. Componentes de varianza genética y heredabilidad de las 4 variables en dos ambientes.	36

I. INTRODUCCIÓN

El mejoramiento genético del maíz es un proceso continuo a través de la formación de híbridos y variedades para el uso comercial. El conocimiento de la acción genética que controla los caracteres de interés económico, es básico para la planeación de un programa de mejoramiento genético.

Los componentes de rendimiento (longitud de mazorca, diámetro de mazorca, diámetro de olote y peso hectolítrico) son importantes para incrementar la producción. Pecina *et al.*, (2011) mencionan que la mejor expresión de rendimiento de grano se da por tener mazorca larga, olote delgado, alto número de granos por mazorca y excelente índice de desgrane.

Por su parte Díaz *et al.*, (2009) reportaron que los híbridos atribuyen un mejor rendimiento teniendo mayor longitud de mazorca, número de hileras de granos y peso de semillas. Mientras que Wong *et al.*, (2007) señalan que los rendimientos de mazorca y de grano correlacionan positivamente con todos los componentes de rendimiento, en particular con diámetro de mazorca y número de hileras en mazorca. Además, Arellano *et al.*, (2010) mencionan que el rendimiento de los híbridos y criollos destacan por sus altos valores de

peso hectolítrico, porte de planta y peso de 100 semillas cuya exploración podría elevar la producción.

Los diseños genéticos son planes de cruzamiento entre los individuos de una población, con el objetivo de estudiar teóricamente los efectos, heredabilidades y las varianzas genéticas que se presentan en las progenies (variables casuales) para enseguida relacionar aquellos con los datos empíricos de tales progenies (variables observables), y poder estimar los parámetros genéticos que interesen como lo menciona Márquez (1985). Las cruzas dialélicas son de mucha importancia, ya que entre otras cosas permiten obtener aptitud de combinatoria general, aptitud de combinatoria específica, efectos maternos, efectos no maternos, efectos recíprocos y heredabilidad de cada progenitor y su cruce.

La idea central de este trabajo de investigación es estimar la heredabilidad en una serie de componentes de rendimiento en un grupo de maíces enanos (longitud de mazorca, diámetro de mazorca, diámetro de olote y peso hectolitro), a partir de un análisis dialélico.

El maíz enano forma un grupo germoplásmico de gran importancia en el programa de mejoramiento de El bajío del IMM se caracterizan por tener una alta respuesta heterótica al cruzarse con otros individuos de población de altura normal. Además, tienen atributos como la adaptación en combinaciones híbridas, y las características que identifican a este material que tiene

entrenados cortos debajo de la mazorca, tendencia a la prolificidad, hojas cortas y erectas, y espigas compactas lo que permite tener una alta densidad de población. (De León *et al.*, 2005).

En este trabajo se estimaron los efectos genéticos y heredabilidades de las variables diámetro de mazorca, longitud de mazorca, diámetro de olote y peso hectolítrico del grupo heterótico denominado enano, para lograr esto se requiere de la realización de cruzamientos entre individuos, uno de ellos es el diseño dialélicos propuestos por (Griffing, 1956) utilizando el modelo II método 3.

Objetivos:

- I. Obtener y evaluar los cruzamientos dialélicos entre cinco líneas, y con base en los análisis de varianza saber si entre las variables hay diferencias de efectos de aptitud combinatoria general y específica, detectar líneas con ventajas agronómicas.

- II. Estimar efectos genéticos y heredabilidades de las variables: peso hectolítrico, diámetro de mazorca, diámetro de olote y longitud de mazorca, por medio de un dialélico modelo II Método 3 de Griffing (cruzas directas, recíprocas).

Hipótesis:

- I. El estudio de la heredabilidades de las variables de interés permitirá conocer qué estrategia de mejoramiento a utilizar, para la siguiente generación de mejoramiento.

- II. Mediante los cruzamientos dialélicos entre líneas, es posible detectar líneas con alta capacidad de aptitud combinatoria general; cruzas simples de buen efecto de ACE y conocer si existen efectos maternos y recíproco en las líneas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia de longitud y diámetro de mazorca

Ángeles *et al.*, (2010) trabajaron con 56 materiales genéticos 52 poblaciones locales y cuatro híbridos recomendados por la zona bajo temporal o seco, en tres localidades. Los resultados mostraron que existen poblaciones locales con mayor rendimiento de grano (MX-6, SA-2 y SC-3 con 5.6, 4.8 y 4.5 t ha⁻¹) que las variedades introducidas, donde los componentes principales definió que las variables con mayor influencia para explicar la variación observada fueron días a floración femenina, número de hojas arriba de la mazorca, área de hoja de la mazorca, aspecto de planta, diámetro de mazorca, longitud de grano, ancho de grano, grosor de grano, diámetro de olote y diámetro de medula.

Hernández y Esquivel (2004) evaluaron 18 cruzas entre líneas y 38 cruzas entre materiales criollos y dos probadores, más tres híbridos comerciales como testigos, donde las variables evaluadas fueron: días a floración, altura de planta, altura de mazorca, número de hileras por mazorca, rendimiento de grano, índice de grano y sanidad de mazorca. Se descubrieron 10 cruzas sobresalientes en cada grupo con rendimiento que fluctúan de 5.0 a 9.3 t ha⁻¹ en el primero y de 5.9 a 9.4 t ha⁻¹ en el segundo.

Herrera *et al.*, (2013) trabajaron con poblaciones nativas de maíz en función de su morfología y rendimiento, para identificar colectas sobresalientes, y para comparar el rendimiento de las poblaciones colectadas entre 1968-1972 vs las de 1995-1996. La superioridad de los caracteres con base en porcentaje de grano, diámetro de mazorca, ancho, longitud y volumen de grano y peso de 1000 semillas se detectó que las poblaciones colectas en 1995-1996 fueron superiores a las de 1968-1972, sugiere que las poblaciones que el agricultor ha continuado manejando por años ha conducido a la generación de poblaciones criollas tardías con mayor rendimiento de grano.

Importancia del olote

Alexander *et al.*, (2013) trabajaron con olote dándole un trato hidrotérmicamente bajo condiciones subcríticas para modificar su forma recalcitrante y obtener una fracción sólida compuesta principalmente de celulosa y lignina, además de una fracción rica en xilosa. Se demostró que es posible degradar un 50-60% la forma recalcitrante de un material lignocelulósico como el olote, mediante degradación hidrotérmica, utilizando sólo agua bajo condiciones subcríticas, a temperaturas por debajo de los 300 °C y tiempo menor de una hora, donde el estudio indicó que el olote contiene celulosa 45%, lignina 15.8% (p-hidroxifenilo, guayacilo y siringilo) y hemicelulosas 33.6%.

Vega *et al.*, (2005) trabajaron para determinar las condiciones adecuadas para la preparación de las disoluciones lignocelulósicas de olote de maíz en polietilenglicol. Donde los resultados iniciales de la aplicación de esta metodología a desechos agroindustriales son una opción para disminuir la contaminación ambiental y aprovechar al máximo los recursos generados en el país. Así mismo, el material posee grupos hidroxilos libres que podrían potencialmente ser utilizados para producir otro tipo de materiales poliméricos.

Martínez *et al.*, (2005) trabajando en la evaluación de producción de polifenoles medido como equivalentes de ácido ferulico, en medio líquido adicionando rastrojo de amaranto y olote de maíz por *Aspergillus niger*. Donde el rastrojo de amaranto y el olote, pueden ser fuente potencial de obtención de polifenoles, entre ellos el ácido ferulico; nutraceuticos utilizados en la industria como antioxidantes, obtenidos por procesos biotecnológicos.

Peso hectolítrico

Salinas *et al.*, (2013) trabajaron con 61 colectas de maíz azul/morado asociadas a 10 razas procedentes de regiones tropicales del Estado de Oaxaca México donde se caracterizó física y químicamente el grano. Grupo I (Bolita, Chiquito, Mushito y Elotes occidentales del subtrópico) sobresalió por sus valores de peso hectolítrico, dureza del grano y porcentaje de pericarpio. El análisis de componentes principales efectuando con las variables físicas y químicas seleccionadas, permitió formar cuatro grupos de razas independientes de su origen agroecológico (tropical y subtropical).

Arellano *et al.*, (2010) trabajaron con 42 variedades criollas de maíz Cacahuacintle, y los híbridos comerciales H-33, H-44 y H-137. El rendimiento de las mejores variedades criollas varió de 7.5 a 8.9 t ha⁻¹ y las variedades 7,11 y 32 destacaron por sus altos valores de rendimiento, peso hectolítrico, porte alto de planta y peso de 100 semillas, cuya exploración de podría elevar la producción de maíz Cacahuacintle para elote y para grano en el Valle de Toluca.

Aptitud Combinatoria General y Específica

Gutiérrez *et al.*, (2004) trabajaron con 100 cruzas derivadas de 20 híbridos comerciales mencionan que los efectos de aptitud combinatoria han sido utilizados ampliamente en el mejoramiento genético para estimar los tipos de acción genética que controlan a los diferentes caracteres; dado si la acción es aditiva o no aditivos, encontrando que la altura de la planta y días a floración estuvieron determinadas por efectos aditivos y el rendimiento del forraje verde y altura de mazorca estuvieron bajo control de los efectos genéticos no aditivos. Existe una alta correlación fenotípica entre altura de planta con la altura de mazorca y entre rendimiento de forraje verde con materia seca.

Gutiérrez *et al.*, (2002) trabajaron para determinar la aptitud combinatoria general (ACG) y la aptitud combinatoria específica (ACE) del rendimiento de grano de seis líneas de maíz, las cuales fueron: L-AN-123R, L-AN-447, L-AN-

360PV, L-AN-130, L-AN-123, y L-AN-388R. Para estimación de los efectos de ACG y ACE se empleó el método II de Griffing (1956). Encontrando que los progenitores con mayor ACG fueron L-AN-123, L-AN-130 y L-AN-123R, por sus valores positivos. Las cruzas de mayor ACE fueron L-AN-447 x L-AN-123, L-AN-447 x L-AN-360PV, y L-AN-360PV x L-AN-130.

Vergara *et al.*, (2005) veinte líneas fueron cruzadas con seis líneas usadas como probadores, con el objetivo de examinar la combinatoria general y específica, y determinar su utilización en el programa de hibridación. Las estimaciones de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica fueron obtenidas usando un análisis de línea x probador. Donde CML264 (1.586 kg/ha) y CML319 (1.285 kg/ha) tuvieron mayor efecto de ACG en el grupo de líneas tropical y subtropical, respectivamente. El mayor efecto de ACE fueron para las cruzas CML322 x M.L. S4-1 (1.651 kg/ha) y CML258 x SSE255-18-19 (1.512 kg/ha). Se observaron importantes combinaciones heteróticas entre las cruzas de líneas de CIMMYT con las líneas del IMM usadas como probadores, las cuales pueden ser explotadas para el desarrollo de nuevos híbridos en corto tiempo.

Márquez (2014) menciona que la selección recurrente para la aptitud combinatoria general mediante líneas S_1 es un método que genera valores muy altos de la endogamia en los primeros ciclos de selección.

Cervantes *et al.*, (2016) el análisis de cruzas dialélicas es una herramienta útil para determinar el efecto genético en estudios de calidad de semillas de maíz. Trabajando con las cruzas F1 y sus progenitores se sometieron a pruebas analíticas de calidad física como biomasa de semilla y calidad fisiológica mediante germinación estándar, velocidad de germinación y vigor por envejecimiento acelerado. Donde se encontraron diferencias estadísticas significativas entre genotipos en la calidad de semilla y el vigor de la plántula. Los efectos de aptitud combinatoria general fueron el principal componente en todas las características evaluadas; también se detectaron efectos estadísticamente significativos de aptitud combinatoria específica y efectos recíprocos en este grupo de genotipos

Antuna *et al.*, (2003) trabajaron con seis líneas endogámicas de maíz y las cruzas simples entre ellas, donde se obtuvo información de floración masculina, altura de planta, altura de mazorca y rendimiento de grano. La calidad fisiológica fue determinada con base en el porcentaje de germinación estándar, índice de velocidad y porcentaje de emergencia. La expresión fenotípica y los efectos genéticos de las líneas y las cruzas simples mostraron una asociación inconsistente entre las variables analizadas, que indican un comportamiento independiente en la expresión de los caracteres agronómicos y los de calidad fisiológica de la semilla. La altura de planta y mazorca, y todas las variables de calidad fisiológica estuvieron determinadas por efectos

adictivos. Los efectos no adictivos fueron el componente principal en la expresión de rendimiento y los días de floración.

Valdivia *et al.*, (2010) trabajaron con seis maíces reconocidos como eloteros: tres criollos (Mecatan, Morado y Jala) y tres híbridos comerciales (A7573, D880 y B810) se aplicó un esquema de cruzamiento dialélico. Los efectos de aptitud combinatoria general fueron más importantes que los efectos de aptitud combinatoria específica en todas las características en los maíces estudiados, excepto para rendimiento de elote. Esto implica que los efectos aditivos fueron más importantes que los efectos de dominancia, y que es posible desarrollar variedades mejoradas especializadas como maíces eloteros.

Diseños dialélicos

Cervantes *et al.*, (2006) trabajaron con diseño de cruza dialélicas involucrando seis líneas endogámicas de maíz tropical, tres de alto y tres de bajo vigor de semilla. En donde se determinó; porcentaje de germinación, vigor a través de pruebas de envejecimiento acelerado, conductividad eléctrica y peso. En plántula se determinó; porcentaje de emergencia, tasa de emergencia y vigor. Los caracteres de semilla se determinaron principalmente por los efectos de ACG; a excepción del vigor de la semilla que estuvo determinado por los efectos de ACE. De la misma manera, los caracteres de vigor inicial de plántula se determinaron por la ACG, aunque los efectos de ACE, ER y EM fueron también significativos de líneas en ambos grupos de caracteres. La h^2

fue mayor en caracteres de vigor inicial de plántula, por lo que la selección sería más efectiva en este tipo de caracteres.

De La Cruz *et al.*, (2005) trabajaron con ocho líneas de maíz de alta calidad proteica. Donde se tomaron las variables; producción de forraje verde (PFV), materia seca total (MST), porcentaje de mazorca (PM) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIV). Los parámetros genéticos fueron estimados mediante el diseño dialélico IV de Griffing con el cual se detectaron diferencias estadísticas para ACE en todas las características evaluadas con excepción de DIV.

Heredabilidad

Chávez (1993) menciona que la heredabilidad se refiere a una característica o rasgo que puede ser una cualquier fracción de cero a uno. Por consiguiente, no está bien definido lo que se entiende por alta o baja heredabilidad, pero en general son aceptables los siguientes valores:

- a) Alta heredabilidad (mayor de 0.5).
- b) Heredabilidad (de 0.2 a 0.5).
- c) Baja heredabilidad (menor de 0.2).

Pérez *et al.*, (2000) trabajaron con la varianza aditiva y la heredabilidad de los caracteres peso y número de frutos después de seis ciclos en selección

de la variedad rendidora de tomate de cascara. Menciona que la heredabilidad, es la proporción de variación genotípica observada en la planta y que es reflejada en la descendencia de la siguiente generación. Donde se puede expresarse en dos formas: (1) como el coeficiente de varianza genotípica (σ_G^2) entre la varianza fenotípica (σ_F^2), que presenta la parte proporcional de la varianza fenotípica u observada atribuible a los efectos totales de los genes de una población, (2) como el coeficiente de varianza genética adictiva (σ_A^2) entre la varianza fenotípica atribuible a los efectos adictivos de los genes de la población.

Domingos *et al.*, (2009) estudio de la variabilidad genética de siete poblaciones de maíz de amplia base genética. Además, se evaluaron las varianzas genéticas entre los promedios de las familias y el coeficiente de heredabilidad para los promedios de las familias. Donde las estimaciones de heredabilidad fueron altas para el peso de la espiga (0.89 a 0.94), longitud de la espiga (0.77 a 0.92), y menores para la altura de planta (0.58 a 0.80) y altura de espiga (0.54 a 0.84) demostrando alto potencial en las poblaciones.

Oyervides *et al.*, (1993) evaluaron 224 familias de hermanos completos, donde las variables fueron: floración masculina, floración femenina, altura de planta, altura de mazorca, numero de mazorcas por 100 plantas y rendimiento. Donde se estima que existe suficiente variabilidad en las familias la cual puede

ser explotada por medio de selección, encontrando heredabilidad en: floración masculina 0.734, floración femenina 0.752, altura de planta 0.759, altura de mazorca 0.815, para número de mazorcas por 100 plantas 0.434, y rendimiento 0.583.

Diseños de apareamiento

Sahagún (2000) trabajó con un diseño de familias de medios hermanos maternos donde encontró que existe una relación directa entre el nivel endogámico de las hembras y el número de repeticiones con la precisión con que se estima a los componentes de varianzas genéticas. En particular, cuando el coeficiente de endogamia del progenitor común fue de 0.75, con dos repeticiones se obtuvo una mayor precisión en la estimación de la varianza aditiva que cuando la endogamia de los progenitores y el número de repeticiones fueron cero y cinco respectivamente. Las líneas S_1 se obtienen más ventajas que con cualquier otro tipo de líneas endogámicas en termino de ganancia de precisión en unidad de tiempo, vigor de los progenitores, realismo de las suposiciones etc.

Luna *et al.*, (2013) trabajaron con 24 líneas endogámicas, siete del programa de la UAAAN-UL, tres del INIFAP y 14 del CIMMYT. Donde encontró que los progenitores machos L-AN 447, CML-264 y L-AN-388P tuvieron los mayores efectos de ACG. Mientras que, para la ACE, los mayores efectos se observaron en las cruzas L-AN360PV x CML-311, LB-39 x CML-314 y L-AN447 x CML-278. Se encontró para rendimiento la varianza aditiva fue de 0.04,

superando a la varianza no aditiva que fue de 0.014, la heredabilidad en sentido amplio fue de 4% y, en sentido estricto 3% con grado de dominancia de 0.83.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Material Genético

El material genético utilizado en esta investigación constó de 5 líneas élite de porte enano con avanzado grado de endogamia, sus cruzas directas y recíprocas, pertenecientes al programa de mejoramiento de Bajío del Instituto Mexicano del Maíz (IMM) Dr. Mario E. Castro Gil, de la “Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro”. Los cruzamientos del dialélico entre las líneas enanas se realizaron en el campo directo del Instituto Mexicano del Maíz durante el ciclo P-V del 2014, obteniendo cruzas simples posibles. Estas cruzas y sus parentales, se ensayaron para observar su comportamiento agronómico en dos ambientes.

Cuadro 3.1. Genealogía de las líneas utilizadas en este trabajo de investigación.

Línea	Genealogía
0101	255-18-19
0102	PEEC1-24
0103	PEGC1-61
0104	PE-212-1-2
0105	[(M16*PE-115-3-13)*M16]-1-2

Buenavista, Saltillo, Coahuila. En el ciclo P-V del 2015

Ubicación del Sitio Experimental

Los ambientes de evaluación se ubican en la sede de la Universidad en la ex-hacienda de Buenavista, Municipio de Saltillo, a 7 km, al sur de esta ciudad, sobre la carretera 54 (Saltillo-Zacatecas). La descripción general de ubicación y las condiciones ambientales se presenta en el Cuadro 3.2.

Localización geográfica y condiciones agroecológicas de los ambientes de evaluación utilizadas en este estudio.

Cuadro 3.2. Localización geográfica y condiciones agroecológicas de los ambientes de evaluación utilizadas en este estudio.

Año	Ambientes	Coordenadas geográficas		
		Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud (msnm)
2015	UAAAN IMM 1	25° 20'	101° 01'	1,815
	UAAAN BAJIO 2	25° 21'	101° 02'	1,730

Descripción Climática:

Temperatura media anual	19.8 °C
Precipitación media anual	350 a 400 mm
Tipo de clima	BW hw (x") (e)

Diseño experimental

El establecimiento de los experimentos se realizó bajo un diseño de bloques al azar con dos repeticiones y en dos localidades. La parcela experimental consistió en un surco de 3.84m de largo, donde se sembraron 23

semillas espaciadas a 8.59 cm. Donde el espaciamiento entre surco fue de 0.80 m, dando una densidad de 110,000 plantas por hectárea.

Las fechas de siembra de cada localidad fueron:

Ambientes	Fechas	Temp. Media anual
UAAAN IMM 1	12 de mayo del 2015	20 °C
UAAAN BAJÍO 2	4 de abril del 2015	20 °C

Fertilización

La dosis de fertilización fue 240-100-100 aplicando la mitad de nitrógeno con todo el fosforo y el potasio a la siembra, la otra mitad del nitrógeno se aplicó al primer cultivo.

Riegos

Los ensayos se sembraron en seco y posteriormente se aplicó el riego de emergencia de plántula a través de cintillas.

Labores culturales

Las labores culturales durante el ciclo del cultivo fueron realizadas de forma oportuna y de acuerdo a las necesidades en cada ambiente de estudio, buscando obtener los mejores resultados, haciendo énfasis en los momentos oportunos del cultivo.

Control de malezas

El control de malezas se realizó en forma química aplicando el ingrediente activo atrazina con el nombre comercial (Gesaprim Calibre 90) cuando las malezas emergieron en el terreno para evitar una infestación.

Control de plagas

Para el control de plagas se aplicó el producto Proclaim 5GS, con ingrediente activo (benzoato de emamectina) para controlar el gusano cogollero durante el desarrollo vegetativo y para controlar daños foliares se aplicó el producto Topgard 75 WP con ingrediente activo (Cyromazina 75%).

Cosecha

Se cosechó la parcela útil en forma manual, para posteriormente registrar el peso del campo. Se realizó el desgrane para hacer una muestra representativa y así poder determinar el porcentaje de humedad y el peso hectolítrico.

Variables estudiadas

Las características agronómicas que se tomaron en cuenta, fueron exclusivamente de componentes de rendimiento mismas que se mencionan y describen a continuación:

Diámetro Olote (DO)

Diámetro de olote que esta expresado en centímetros tomado del centro del olote la medida de esta variable se hace en 5 mazorcas representativas de la parcela y posteriormente sacar el promedio de la misma.

Diámetro de mazorca (DM)

Diámetro de la mazorca que esta expresado en centímetros tomado del centro de la mazorca en 5 mazorcas representativas de la parcela y posteriormente sacar el promedio de la misma.

Longitud de mazorca (LM)

Longitud que existe entre la base de la mazorca hasta el ápice de la misma, se realizó en 5 mazorcas representativas de la parcela y posteriormente se determina el promedio.

Peso hectolítrico (PHL)

Representa el peso del grano contenido en un recipiente de 100 litros, es muy importante para la comercialización de granos, ya que esta traduce la cantidad del peso específico de grano que hay en un volumen de 100 litros, se midió con el aparato Dickey John (mini GAC plus).

Rendimiento de mazorca en $t\ ha^{-1}$ al 15% de la humedad (REND)

El valor se obtiene de multiplicar el valor de peso seco por un factor de conversión, las fórmulas para estimar cada uno se describen a continuación.

El peso seco (PS) fue estimado multiplicando el porcentaje de grano seco por el peso del campo (PC).

$$PS = \frac{(100 - \%H) \times PC}{100}$$

Dónde:

%H = porcentaje de humedad del grano a la cosecha por parcela.

PC = peso de campo en Kg.

$$FC = \frac{10000}{APU \times 1000 \times .845}$$

Dónde:

APU = Área de parcela útil. Es el producto de la distancia entre surcos por la distancia entre matas por el número exacto de plantas por parcela.

0.845 = Constante para transformar el rendimiento de peso seco al 15.5% de la humedad.

1,000 = Coeficiente para obtener el rendimiento en t ha⁻¹.

Análisis de datos agronómicos

En primer lugar los datos de las variables de los genotipos evaluados fueron analizados bajo un diseño de bloques al azar con el programa SAS

versión 9.0, en forma combinada a través de los ambientes, todo esto para saber si dentro de las variables existía diferencia entre híbridos, entre ambientes y la magnitud de la interacción.

El modelo lineal para el análisis combinado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + R_{j(i)} + G_k + AG_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Variable aleatoria observable correspondiente al i -ésimo ambiente, a la j -ésima repetición dentro de cada ambiente, al k -ésimo genotipo; μ = Media general; A_i = Efecto de la i -ésimo ambiente; $R_{j(i)}$ = Efecto de la j -ésima repetición dentro del i -ésimo ambiente. G_k = Efecto del k -ésimo genotipo; AG_{ik} = Efecto conjunto del i -ésimo ambiente y el k -ésimo genotipo; ε_{ijk} = Error experimental.

$i = 1, 2, \dots, A$, Ambientes.

$j = 1, 2, \dots, R$, Repeticiones.

$k = 1, 2, \dots, G$, Genotipos.

El sistema de apareamiento empleado fue el método I de (Griffing, 1956), el cual permitió generar cruzas directas y recíprocas e incrementar los parentales a partir de p líneas progenitores, originando $p(p-1)$ genotipos diferentes.

Si bien, el método I se utilizó por ser el más completo, sin embargo, para el estudio de los componentes genéticos se utilizó el método 3 modelo II de (Griffing, 1956).

El análisis de componentes genéticos y estimación de heredabilidad se realizó a través de dos ambientes mediante el método 3 modelo II de (Griffing, 1956) con la rutina computacional DIALLEL-SAS05, propuesto por Zhang *et al.*, (2005). Cuyo modelo genético se presenta a continuación:

$$Y_{ijklm} = \mu + A_i + R_{j(i)} + g_k + g_l + s_{kl} + m_m + Ag_{ik} + Ag_{il} + As_{ikl} + Am_{im} + \mathcal{E}_{ijklm}$$

Dónde:

Y_{ijklm} = Variable de respuesta; μ = Efecto de la media general; A_i = Efecto del i -ésimo ambiente; $R_{j(i)}$ = Efecto de la j -ésima repetición dentro del i -ésimo ambiente; g_k = Efecto de la aptitud combinatoria general del padre k ; g_l = Efecto de la aptitud combinatoria general del padre l ; s_{kl} = Efecto de la aptitud combinatoria específica de los padres k y l ; m_m = Efecto recíproco; Ag_{ik} = Efecto de la interacción entre el i -ésimo ambiente y la aptitud combinatoria general del padre k ; Ag_{il} = Efecto de la interacción entre el i -ésimo ambiente y la aptitud combinatoria general del padre l ; As_{ikl} = Efecto de la interacción entre el i -ésimo ambiente y la aptitud combinatoria específica de los padres k y l ; Am_{im} = Efecto de la interacción entre el i -ésimo ambiente y el efecto recíproco y; \mathcal{E}_{ijklm} = Error experimental.

La estructura de análisis de varianza y las esperanzas de cuadrados medios se presenta en el Cuadro 3.3

Cuadro 3.3. Estructura del análisis genético combinado a través de ambientes del modelo I de Griffing.

Fuentes de variación	g.l.	CM	ECM
Ambientes (AMB)	a-1		
Repeticiones (REP)	a(r-1)		
Hibrido (HIB)	p(p-1)		
ACG	p-1	M1	$\sigma_e^2 + 2r((p^2 - p + 1)/p^2) \sigma_{sa}^2 + 2r((p^2 - p + 1)/p^2) / \sigma_s^2 + 2rp\sigma_{ga}^2 + 2rp/\sigma_g^2$
ACE	p(p-3)/2	M2	$\sigma_e^2 + 2r((p^2 - p + 1)/p^2) \sigma_{sa}^2 + 2r((p^2 - p + 1)/p^2) / \sigma_s^2$
ER	p(p-1)/2	M3	$\sigma_e^2 + 2r\sigma_{ra}^2 + 2r/\sigma_r^2$
EM	p-1	M4	$\sigma_e^2 + 2r\sigma_{ra}^2 + 2r/\sigma_r^2 + 2rp + 2rp\sigma_{ma}^2 + 2rp/\sigma_m^2$
HIB*AMB	p(p-1)(a-1)	M5	$\sigma_e^2 + r\sigma_{ha}^2$
ACG*AMB	(p-1)(a-1)	M6	$\sigma_e^2 + 2r((p^2 - p + 1)/p^2) \sigma_{sa}^2 + 2r\sigma_{ga}^2$
ACE*AMB	p(p-3)(a-1)/2	M7	$\sigma_e^2 + 2r((p^2 - p + 1)/p^2) \sigma_{sa}^2$
ER*AMB	p(p-1)(a-1)/2	M8	$\sigma_e^2 + 2r \sigma_{ra}^2$
EM*AMB	(p-1)(a-1)	M9	$\sigma_e^2 + 2r \sigma_{ra}^2 + 2rp\sigma_{ma}^2$
Error	{p(p-1)}{a(r-1)}	M10	σ_e^2

g.l.=grados de libertad; ACG=Aptitud Combinatoria General; ACE=Aptitud Combinatoria Especifica; ER=Efectos Recíprocos; EM=Efectos Maternos; ENM=Efectos No Maternos; CM=Cuadrados Medios; ECM=Esperanza de Cuadrados Medios.

Con base al análisis de varianza combinado y a partir de las esperanzas de cuadrados medios (Cuadro 3.3).

$$\hat{\sigma}^2 A = 2\hat{\sigma}^2 ACG \text{ donde: } \hat{\sigma}^2 ACG = \frac{1}{2rp(1+l)} M1 - M2 + M6 - M7$$

$$\hat{\sigma}^2 D = \hat{\sigma}^2 ACE \text{ donde: } \hat{\sigma}^2 ACE = \frac{p^2}{2rl(p^2 - p + 1)} M2 - M7$$

$$\hat{\sigma}^2 EM = \frac{1}{2rl(2+1)} M3 - M4 + M8 - M9; \hat{\sigma}^2 ER = \frac{1}{2rl} M4 - M9;$$

$$\hat{\sigma}^2 AMB \times CRUZAS = \frac{1}{r} M5 - M10$$

$$\hat{\sigma}^2 AMBxACG = \frac{1}{2r} M6 - M7; \hat{\sigma}^2 AMBxACE = \frac{P^2}{2rP(P^2-P+1)} M7 - M10;$$

$$\hat{\sigma}^2 AMBxEM = \frac{1}{2rp} M8 - M9; \hat{\sigma}^2 AMBxER = \frac{1}{2r} M9 - M10$$

A partir de la varianza genética aditiva ($\hat{\sigma}^2 A = \hat{\sigma}^2 2ACG$) y la varianza genética de dominancia ($\hat{\sigma}^2 D = \hat{\sigma}^2 ACE$), se calcularon las variables de heredabilidad en sentido estrecho ($h^2 = \frac{\hat{\sigma}^2 A}{\hat{\sigma}^2 F} \times 100$) para cuatro caracteres, donde $\hat{\sigma}^2 F$ es la varianza fenotípica, la cual se obtuvo a partir de componentes de varianzas estimadas ($\sigma^2 ACG, \sigma^2 ACE, \sigma^2 EM, \sigma^2 ER, \sigma^2 AMBxACG, \sigma^2 AMBxACE, \sigma^2 AMBxEM, \sigma^2 AMBxER, \sigma^2 EC$) por el análisis combinado de Montesinos *et al.*, (2007) de la siguiente forma $\hat{\sigma}^2 F = \hat{\sigma}^2 ACG + \hat{\sigma}^2 ACE + \hat{\sigma}^2 EM + \hat{\sigma}^2 ER + \hat{\sigma}^2 AMBxACG + \hat{\sigma}^2 AMBxACE + \hat{\sigma}^2 AMBxEM + \hat{\sigma}^2 AMBxER + \hat{\sigma}^2 EC$.

Las proporciones de los efectos de ACG, ACE, ER, EM y ENM se calcularon con base en las sumas de cuadrados, con respecto a la proporción que ocupan cuando las cruzas se particionan en estos efectos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para conocer si se cumplieron los objetivos y llevar a cabo la comprobación de la hipótesis planteada para este trabajo, en este capítulo se presentan los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza (ANVA) los cuales se concentran en el Cuadro 4.1 englobando las cuatro viables agronómicas.

La fuente de variación ambientes presentó diferencias altamente significativas al ($P \leq 0.01$) para el variable peso hectolítrico esto se debe al diferente manejo que se dio en cada ambiente y las condiciones geográficas, al contrario, para las variables diámetro de mazorca, diámetro de olote y longitud de mazorca, no presentaron diferencia lo que indica que el efecto del ambiente no modifica su expresión de las mismas.

Cuadro 4. 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de 20 híbridos formados a partir de 5 líneas, considerando cruza directas y reciprocas.

F.V.	G.L.	PHL		D.M	D. O	L. M
AMB	1	149.331	**	2.941	0.095	11.776
REP(AMB)	2	53.839	**	5.014	0.331 **	18.854
HIB	19	8.374	*	1.816	0.063 **	6.156
AMB*HIB	19	6.835	*	2.201	0.035	2.572
ERROR	38	3.592		2.129		2.473
TOTAL	79					
MEDIA		70.76		5.392	2.932	15.06
C.V.		2.678		27.063	5.427	10.442

*, **, Significancia ($P \leq 0.05$) y ($P \leq 0.01$) respectivamente; F.v.= Fuente de variación; AMB= Ambiente; REP(AMB)=Repeticiones dentro del ambiente; HIB=Hibrido; AMB(HIB)=Hibrido dentro del ambiente; G: L= Grados de libertad; PHL=Peso hectolítrico; DM=Diámetro de mazorca; DO= Diámetro de olote; LM= Longitud de mazorca.

La fuente de variación Repetición dentro del Ambiente mostró diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para las variables peso hectolítrico (PHL) y diámetro (DO), esto permitió observar las diferencias que hubo entre las repeticiones. Las variables diámetro de mazorca y longitud de mazorca no mostraron diferencias. Lo que indica que la Repetición/Ambiente tuvo igual comportamiento.

La fuente de variación híbridos mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para el variable peso hectolítrico y diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para el variable diámetro de olote, esto indica que al menos un híbrido resultó ser superior a los demás. Las variables diámetro de mazorca y longitud de mazorca no mostraron significancia esto indica que no hay diferencia entre los híbridos evaluados para estos atributos.

Ambiente por Híbrido, mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para la variable peso hectolítrico esto indica que hay interacción entre el híbrido y el ambiente. Para las variables diámetro de mazorca, diámetro de olote y longitud de mazorca no mostraron diferencias esto señala que estos materiales son estables a través de los ambientes.

Una vez demostrado que los diseños experimentales muestran información confiable se procedió a estimar los componentes de varianza para tener estimados de heredabilidad.

Los resultados del análisis de varianza del modelo 2 método 3 del dialélico de Griffing efectuado para las cuatro variables de estudio se resumen en el cuadro 4.2. Donde se puede destacar:

Cuadro 4. 2. Cuadrados medios y parámetros genéticos del análisis dialélico de 20 híbridos formados a partir de 5 líneas considerando cruzas directas y recíprocas en dos ambientes.

F.V.	CM	G.L.	LM	DM	PHL	DO
ACG	M1	4	19.543 **	1.187	8.379	0.182 **
ACE	M2	5	1.629	2.126	15.229 **	0.039
REC	M3	10	3.066	1.909	4.944	0.028
MAT	M4	4	2.960	2.203	4.643	0.061
NMAT	M5	6	3.136	1.779	5.144	0.006
ACG*LOC	M6	4	6.416 *	1.925	8.798	0.136 **
ACE*LOC	M7	5	1.443	2.415	5.202	0.003
REC*LOC	M8	10	1.600	2.020	6.866	0.010
MAT*LOC	M9	4	3.089	1.925	10.748 *	0.022
NMAT*LOC	M10	6	0.607	2.083	4.278	0.002

*,** Significancia ($P \leq 0.05$) y ($P \leq 0.01$) respectivamente; F.v.= Fuente de variación; ACG= Aptitud combinatoria general; ACE= Aptitud combinatoria específica; REC= Efectos recíprocos; MAT= Efectos maternos; NMAT= Efectos no maternos; ACG*LOC= Aptitud combinatoria general por localidad; ACE*LOC= Aptitud combinatoria específica por localidad; REC*LOC= Efectos recíprocos por localidad; MAT*LOC= Efectos maternos por localidad; NMAT*LOC= Efectos no maternos por localidad

Para la fuente de variación (ACG) aptitud combinatoria general tubo comportamientos estadísticamente diferente de cero a ($P \leq 0.01$) para la variable longitud de mazorca y diámetro de olote donde estas diferencias encontradas se pueden atribuir a la base genética de donde se derivaron los progenitores los cuales han pasado por varios ciclos de selección. Las variables DM y PHL no mostraron diferencias su efecto es igual a cero, esto indica que hace falta hacer selección específica a estos caracteres para lograr incrementar su varianza aditiva.

La aptitud combinatoria específica mostró diferencias altamente ($P \leq 0.01$) para la variable peso hectolítrico lo que indica que al menos una cruce explota efectos no aditivos para este carácter, esto refleja que es buen atributo que se puede capitalizar para incrementar el rendimiento en estos materiales; las variables (LM, DM, DO) no mostraron diferencias esto indica que para estos caracteres no existe nivel de dominancia en esta población.

Las fuentes de variación efectos maternos, recíprocos y no maternos no presentaron diferencias es decir la información de estos caracteres depende de genes nucleares.

En el estudio de fuente de interacción Aptitud combinatoria general por localidad hubo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para la variable (DO) porque hay interacción esto indica que ACG es modificada por el ambiente, así como los efectos significativos ($P \leq 0.05$) para la variable longitud de mazorca lo que indica que hay interacción de aptitud combinatoria general a través de ambiente.

La fuente de variación efectos materno por localidad mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para la variable peso hectolítrico indica que la variable evaluada está influenciada por genes extranucleares muy influenciados por el ambiente, para las variables (DO, LM y DM) no hubo diferencias significativas esto indica que son estables a través de ambientes.

Con atención los resultados discutidos en el cuadro anterior se procedieron a presentar de manera desglosada los efectos de ACG (Cuadro 4.3) en lo progenitores y los efectos ACE (Cuadro 4.4) en las cruzas.

El resumen, los efectos de aptitud combinatoria general se concentró en cuadro 4.3 donde se destacan las siguientes líneas 1 y 2; donde la línea 1 tiene diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) favorables para diámetro de mazorca y diámetro de olote esto indica que cada vez se use como progenitor los descendientes serán de mayor diámetro de mazorca, además se ve favorecido la longitud de mazorca, pero desafortunadamente tiende a disminuir el peso hectolitrico.

La línea 2 tiene diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) favorable para el variable diámetro de mazorca (DM) y diferencias significativas ($P \leq 0.05$) negativas para el variable diámetro de olote, esto indica que cada vez que se use la línea como progenitor los descendientes serán de mayor diámetro de mazorca, pero con menor diámetro de olote teniendo un favorable peso hectolítrico y desafortunadamente una longitud de mazorca baja.

Cuadro 4.3. Concentración de efectos directos (ACG), obtenidos a través del diseño dialélico de Griffing modelo 2, método 3 de cuatro variables agronómicas de 10 cruzas en F_1 .

ACG	DM	LM	PH	DO
1	0.259 **	1.298	-0.017	0.112 **
2	-0.925	-0.182	-0.788	0.070
3	0.182 **	-0.976	0.840	-0.076 *
4	-0.054	-0.605	0.165	0.068
5	-0.295	0.465	-0.200	0.049

*, **, Significancia ($P \leq 0.05$) y ($P \leq 0.01$) respectivamente, ACG= Aptitud combinatoria general, DM= diámetro de mazorca, LM= longitud de mazorca, PH= peso hectolítrico y DO diámetro de olote.

Las cruza de mayor ACE favorable pueden ser consideradas en programas de mejoramiento genético para formar híbridos con buenos atributos.

Al observar el comportamiento de los cruzamientos hay significancia ($P \leq 0.05$) y favorable para el variable diámetro de mazorca esto indica que esta cruza tiene un buen diámetro de mazorca así mismo un favorable diámetro de olote, pero desafortunadamente tiene un valor bajo en longitud de mazorca y peso hectolítrico.

La cruza 2*4 mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) negativas para la variable peso hectolítrico esto indica que esta cruza especifica tiende a disminuir el peso hectolítrico así mismo para la longitud de mazorca.

La cruza 4*5 mostro diferencias significativas ($P \leq 0.05$) favorables para el variable peso hectolitrico, esto señala que esta cruza especifica tiene un buen comportamiento para dicha variable además tiene buenos atributos que deber ser consideradas en la selección.

Cuadro 4.4. Cuadro 4.4 Concentración de efectos directos (ACE), obtenidos a través del diseño dialélico de Griffing modelo 2 método 3 de cuatro variables agronómicas de 10 cruzas F₁.

ACE	DM	LM	PHL	DO
1*2	-0.183	0.642	1.177	0.029
1*3	0.799 *	-0.221	-0.027	0.023
1*4	-0.206	-0.241	-0.102	0.038
1*5	-0.410	-0.179	-1.047	-0.092
2*3	-0.326	-0.046	0.506	-0.435
2*4	0.224	-0.447	-1.831 *	0.015
2*5	0.285	-0.148	0.147	-0.001
3*4	-0.308	0.314	0.277	-0.064
3*5	-0.165	-0.046	-0.756	0.084
4*5	0.290	0.374	1.656 *	0.009

*, **, Significancia ($P \leq 0.05$) y ($P \leq 0.01$) respectivamente, ACE= Aptitud combinatoria específica, DM= diámetro de mazorca, LM= longitud de mazorca, PHL= peso hectolítrico y DO diámetro de olote.

Los efectos maternos significativos a ($P \leq 0.05$) favorables para la variable diámetro de olote detectados en el progenitor 4 indican que existe contribución de genes localizados en el citoplasma; también sugiere que este progenitor se debe de utilizar como hembra para incrementar el diámetro de olote, teniendo atributos numéricamente favorables para diámetro de mazorca y longitud de mazorca, sin embargo, variable peso hectolítrico es bajo.

Cuadro 4.5. Resumen de Efectos maternos (EM), obtenidos a través de diseño dialélico de Griffing modelo 2, método 3 de las 4 variables agronómicas de 10 cruzas en F₁.

EM	DM	LM	PHL	DO
M1	-0.311	0.303	0.217	0.005
M2	-0.040	-0.108	-0.155	-0.012
M3	0.305	0.124	-0.012	-0.044
M4	0.116	0.091	-0.467	0.063 *
M5	-0.070	-0.410	0.417	-0.001

*, **, Significancia ($P \leq 0.05$) y ($P \leq 0.01$) respectivamente, EM= Efectos maternos, DM= diámetro de mazorca, LM= longitud de mazorca, PHL= peso hectolítrico y DO diámetro de olote.

La estimación de los efectos recíprocos es de gran importancia para tomar decisiones más acertadas sobre la utilización de líneas como progenitor macho o hembra. En el cuadro 4.6 la cruce 1*3 mostró diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) negativas solo para la variable diámetro de mazorca (DM), esto indica que la cruce tiende a disminuir el diámetro de mazorca cuando se hace de forma recíproca (3*1), además tiene atributos numéricamente favorables longitud de mazorca (LM), peso hectolítrico (PHL) y diámetro de olote (DO).

Cuadro 4.6. Concentración de efectos recíprocos (ER), obtenidos a través del diseño dialélico de Griffing modelo 2, método 3 de las 4 variables agronómicas de 10 cruces F_1 .

ER	DM	LM	PHL	DO
1*2	0.037	0.450	-1.012	0.03
1*3	-1.493 **	0.655	0.587	0.022
1*4	-0.162	-0.532	1.062	-0.062
1*5	0.137	0.945	0.45	-0.017
2*3	-0.103	0.32	-0.25	0.067
2*4	-0.206	-0.2	-0.487	-0.113
2*5	0.071	-0.21	-1.05	0.015
3*4	0.003	0.982	0.375	-0.095
3*5	-0.071	0.612	-0.1	-0.035
4*5	0.215	0.705	-1.387	0.045

*, **, Significancia ($P \leq 0.05$) y ($P \leq 0.01$) respectivamente, ER= Efectos recíprocos, DM= diámetro de mazorca, LM= longitud de mazorca, PHL= peso hectolítrico y DO diámetro de olote.

Estimación de efectos no maternos solo presentó significancia a ($P \leq 0.05$) negativo la variable diámetro de mazorca esto se atribuye que este carácter no está influenciado por el citoplasma ni por el núcleo si no por efectos

epigenéticos donde regula la expresión genética de una célula sin alterar la secuencia de ADN.

Cuadro 4.7. Estimación de efectos no maternos (ENM), obtenidos a través del diseño de dialélico de Griffing modelo 2, método 3 de las 4 variables agronómicas de 10 cruzas en F₁.

ENM	DM	LM	PHL	DO
1*2	0.023	0.038	-1.385	0.023
1*3	-0.016 *	0.475	0.357	-0.016
1*4	0.006	-0.745	0.377	0.006
1*5	-0.013	0.230	0.65	-0.013
2*3	0.035	0.552	-0.107	0.035
2*4	-0.038	-0.0008	-0.8	-0.038
2*5	0.025	-0.512	-0.477	0.025
3*4	0.012	0.949	-0.08	0.012
3*5	0.007	0.078	0.33	0.007
4*5	-0.019	0.203	-0.502	-0.019

*, **, Significancia ($P \leq 0.05$) y ($P \leq 0.01$) respectivamente, ENM= Efectos no maternos, DM= diámetro de mazorca, LM= longitud de mazorca, PHL= peso hectolítrico y DO diámetro de olote.

La selección es de gran importancia tomando en cuenta todos los atributos favorables para una buena selección y contar con los mejores materiales. En el Cuadro 4.8 se plasman las cruzas que fueron superiores a los demás, donde la cruz 20 encabeza teniendo un peso hectolítrico de 73.55 así mismo fue superior a las demás variables DM (5.11), LM (14.59) y DO (3.01). La cruz 11 ocupa el segundo lugar, teniendo un peso hectolítrico de 72.42 además de ser superior a los demás variable DM (5.21), LM (14.77) y DO (2.76). Esto es un indicador que estas cruzas tienen un buen rendimiento.

Cuadro 4.8. Concentración de medias de las cuatro variables evaluadas obtenidos a través del diseño de dialélico de Griffing modelo 2, método 3.

C. simple	DM	LM	PHL	DO
1	5.33	17.27	70.12	2.95
2	5.14	15.81	72.15	2.79
3	5.22	14.98	71.87	2.86
4	5.08	17.59	69.95	2.76
5	5.41	16.36	72.15	2.89
6	5.05	14.17	71.07	2.95
7	5.26	13.62	67.82	2.97
8	5.36	14.98	68.87	3.06
9	8.12	14.50	70.97	2.74
10	5.26	13.53	71.57	2.81
11	5.21	14.77	72.42	2.76
12	5.04	15.11	70.55	2.95
13	5.55	16.04	69.75	2.99
14	5.67	14.02	68.8	3.2
15	5.20	12.81	71.67	2.95
16	5.54	16	71	3.10
17	4.80	15.7	69.05	2.79
18	5.21	15.40	70.97	3.03
19	5.18	13.89	70.75	3.02
20	5.11	14.59	73.77	3.01

CS= Cruzas simples, DM= diámetro de mazorca, LM= longitud de mazorca, PHL= peso hectolitrico y DO= diámetro de olote.

Para una explicación más clara del efecto aditivo se calculó la heredabilidad en sentido estrecho de los caracteres, ya que con estos se puede medir el grado de diferencias entre organismos debido al valor reproductivo.

Las estimaciones de heredabilidad (h^2) en presente estudio oscilaron de -0.0252 a 0.1743 (cuadro 4.9). Los valores más altos ocurrieron en los caracteres longitud de mazorca (0.1743) y diámetro de olote (0.1300), lo anterior es un indicativo de obtención de ganancia relativamente rápida para esos caracteres. Mientras que las heredabilidades fueron más bajas en los caracteres diámetro de mazorca (-0.0252) y peso hectolítrico (-0.0154) para esto es recomendable la aplicación de un método de mejoramiento que implique líneas autofecundadas para el aseguramiento de una mayor respuesta a la selección del carácter deseado.

Cuadro 4.9. Componentes de varianza genética y heredabilidad de las 4 variables en dos ambientes.

	LM	DM	PHL	DO
σ^2_A	0.7628	-0.0476	-0.1084	0.0091
σ^2_F	4.3747	1.8834	7.0180	0.0706
h^2	0.1743	-0.0252	-0.0154	0.1300
σ^2_D	0.0277	-0.0431	1.4921	0.0054

$\sigma^2_{A=}$ varianza aditiva; $\sigma^2_{F=}$ varianza fenotípica; h^2 = heredabilidad; σ^2_{D} varianza de dominancia; LM= longitud de mazorca; DM= diámetro de mazorca; PHL= peso hectolítrico; DO= diámetro de olote.

La varianza genética aditiva resultó ser importante para la variable longitud de mazorca (LM) y diámetro de olote (DO) en dichos caracteres la heredabilidad presenta valores de 0.17 y 0.13 respectivamente, en este mismo sentido la varianza aditiva para la variable diámetro de mazorca y peso hectolítrico fue baja.

La varianza genética dominante presentó valores positivos favorables y mayor que la varianza aditiva para la variable peso hectolítrico es decir que esta

variable se puede mejorar mediante cruzamientos específicos como es el caso de la cruza 4*5 en este estudio.

V. CONCLUSIÓN

De acuerdo con los objetivos planteados y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se tiene las siguientes conclusiones:

La estimación de las varianzas y heredabilidades fue funcional en la exploración y caracterización genética de las líneas, donde se encontraron heredabilidades intermedias y bajas para las cuatro variables, por lo tanto, se podrá emplear selección recurrente con dos métodos diferentes que son: estructura de hermanos completos para heredabilidades intermedias y progenies endogámicas para caracteres con heredabilidades bajas.

Se encontraron dos líneas con alta capacidad de aptitud combinatoria general (ACG) la que encabeza es la línea 1 posteriormente la línea 2.

En general no se detectaron efectos maternos ni recíprocos para las variables estudiadas.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Alexander, C. J.; Salcedo, E.; Rodríguez, R.; Francisco, Z. J.; Manríquez, R.; Contreras, H.; Robledo, J.; Delgado, E. (2013) Caracterización y valorización de olote: degradación hidrotérmica bajo condiciones subcríticas. *Revista latinoamericana química* 41(3): Disponible en línea: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rlq/v41n3/v41n3a4.pdf>

Ángeles, G. E.; Ortiz, T. E.; López, A. P. y López, R. G. (2010) Caracterización y rendimiento de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(4): 287-296. Disponible en línea: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v33n4/v33n4a6.pdf>

Antuna, G. O.; Rincón, S. F.; Gutiérrez, R. E.; Ruiz, T. N. A.; y Bustamante G.L. (2003) Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26(1): 11-17. Disponible en línea: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61026102>

Arellano, V. J.; Gámez, V. J.; Avila, P. M (2010) Potencial agronómico de las variedades criollas de maíz Cacahuacintle en el Valle de Toluca. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(4):37-41. Disponible en línea: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v36n1/v36n1a3.pdf>

Cervantes, O. F.; García, S. G.; Caballo, C. A.; Bergvison, D.; Luis, C. J.; Mendoza, E. M.; y Moreno, M. E. (2006) Análisis dialélico para caracteres de vigor de semilla y de plántula en genotipos de maíz tropical. *Agricultura Técnica en México*. 32(1): 0568-2517. Disponible en línea: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172006000100008

Cervantes, O. F.; Hernandez, E. J.; Rangel, L. A.; Andrio, E. E.; Mendoza, E.M.; Rodríguez, P. G.; Guevara, A. L. (2016) Aptitud combinatoria general y específica en la calidad de semilla de líneas S3 de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 39(3): 259-268. Disponible en línea: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v39n3/0187-7380-rfm-39-03-00259.pdf>

Chavez A, J.L. (1993) Mejoramiento de plantas I. 2ª edición. Ed. Trillas, Mexico D.F. 136 p.

De la Cruz, L. E.; Rodríguez, H.S.; Estrada, B. MA.; Mendoza, P.JD.; y Brito, M.NP. (2005) Análisis dialélico de maíz QPM para características forrajeras. *División Académica de Ciencias Agropecuarias Mexico*. 21(41): 19-26.

De León, C. H.; Rincón, S. F.; Reyes, V. M. H.; Sámano, G. D.; Martínez, Z. G.; Cavazos, C. R. y Figueroa, C. J de D. (2005). Potencial de

rendimiento y estabilidad de combinaciones germoplásmicas formadas entre grupos de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(2):135 -143.

De la Cruz, L. E.; Gutiérrez, R. E.; Palomo, G. A.; y Rodríguez, H. S.(2003)

Aptitud combinatoria y heterosis de líneas de maíz en la Comarca Lagunera. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26(4): 279-284. Disponible en línea: <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/26-4/9a.pdf>

Diaz, C.T.G; Sabando, A. F. A; Zambrano, M. S; Vascones, M. H. G. (2009)

Evaluación productiva y calidad de grano de cinco híbridos de maíz (*Zea mays L.*) en dos localidades de la Provincia de Ríos. *Ciencia y tecnología* 2(1) 15-23.

Espinoza, B. A; Lozano, G. J.J. (2007) Aptitud combinatoria de componentes

de rendimiento en líneas de maíz para grano en la Comarca Lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30(2): 181-189. Disponible en línea: <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/30-2/10a.pdf>

Espinosa, T. E.; Mendoza, C. M. C.; Castillo, G. F.; Ortiz, C. J.; Delgado, A.

A. y Carrillo. S. A. (2009) Acumulación de antocianinas en pericarpio y aleurona del grano y sus efectos genéticos en poblaciones criollas de maíz pigmentado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32(4): 303-309. Disponible en línea: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v32n4/v32n4a9.pdf>

- Fidel Márquez Sánchez (2014).** Endogamia en el maíz en la selección recurrente para la aptitud combinatoria. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 37(4): 315-317. Disponible en línea: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v37n4/v37n4a4.pdf>
- Garbuglio, D. D.; De Miranda F. J. B. y Cella, M. (2009).** Variabilidad genética em famílias S1 de diferentes populações de milho. *Acta Sci. Agron. Maringá*. 31(2):209-213. Disponible en línea: <http://www.scielo.br/pdf/asagr/v31n2/v31n2a04.pdf>
- Gutiérrez, R. E; Palomo, G. A; Espinoza, B. A; De La Cruz, L.E. (2002)** aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de las líneas de maíz en la Comarca Lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 25 (3): 271-277. Disponible en línea: <http://www.redalyc.org/html/610/61025307/>
- Gutierrez, R. E.; Espinoza, B. A.; Palomo, G. A.; Lozano, G. J.J.; Antuna, G. O. (2004)** Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la comarca lagunera. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27(1): 7-11. Disponible en línea: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61009902>
- Griffing, B. (1956).** Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Division of Plant Industry, C.S.I.R.O., Canberra, A.C.T. 463-493.

- Herrera, C. E.; Castillo, G. F.; Ortega, P. R.; Delgado, A. A. (2013)**
Poblaciones superiores de la diversidad de maíz en la región oriental del estado de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(1): 33-43.
- Luna, O. JG; García, H. JL; Valdez, C. R. D; Gallegos R. M. A; Guerrero G. C; Espinoza, B.A. (2013)** Aptitud combinatoria y componentes genéticos en líneas de maíz. *Universidad y ciencia* 29(3): 243-253. Disponible en línea: <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v29n3/v29n3a3.pdf>
- Martínez, O. E.; Edeum; Hernández, C. R.; Ramos, A. M. A.; Santos, S. J. (2005)** Cultivo de *Aspergillus niger* en rastrojo de amaranto y olote de maíz para la obtención de polifenoles. XI congreso nacional de biotecnología y bioingeniería.
- Márquez, S. F. (2008)** De las variedades criollas de maíz (*Zea mays L.*) a los híbridos transgénicos. I: recolección de germoplasma y variedades mejoradas. *Agricultura, sociedad y Desarrollo México*. 5:151-166. Disponible en línea: <http://www.colpos.mx/asyd/volumen5/numero2/asd-08-010.pdf>
- Marquez, S. F. (1985)** Genotecnia Vegetal. Tomo I. Metodos, Teoria, Resultados. AGT Ed. 64 p. México.

Montesinos L, O. A; Mastache L, A. A; Luna, E. L; Hidalgo C, J. V. (2007)

Mejor predictor lineal e insesgado combinado de los diseños uno y tres de Griffing. *Tec. Pecu. Méx.* Vol. 45 (2):131-146

Oyervides, G. A.; Mariaca P. J.; De Leon, C. H.; y Reyes, V. M. (1993)

Estimación de parámetros genéticos en una población de maíz tropical. *Agronomía Mesoamericana* 4: 30-35. Disponible en línea: http://www.mag.go.cr/rev_meso/v04n01_030.pdf

Pérez, G. M.; Sahagún, C. J.; Peña, L. A.; Alvarado, N. F.; Aguilar, G. A.

(2000) Estimación de varianza aditiva y heredabilidad en dos poblaciones de tomate de cascara (*physalis ixocarpa* Brot). *Revista Fitotecnia Mexicana.* 23: 49-58. Disponible en línea: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61023105>

Reyes, L. D.; Molina, G. J.D.; Oropeza, R. M. A.; y Moreno, P. E. C. (2004)

Cruzas_dialelicas entre lineas autofecundadas de maíz derivadas de raza tuxpeña. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 27(1): 49-56. Disponible en línea: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61027107>

Sahagún Castellanos Jaime (2000) Estimación de varianzas genéticas con

medios hermanos maternos y diferentes niveles endogámicos y repeticiones. *Agrociencia* 34(1): 21-32. Disponible en línea: <http://www.redalyc.org/pdf/302/30234103.pdf>

- Salinas, M. Y.; Aragon, C. F.; Ybarra, M. C.; Aguilar, V.J.; Altunar, L. B. y Sosa, M. E. (2013)** Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36(1): 23-31. Disponible en línea: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v36n1/v36n1a3.pdf>
- Valvidia, B. R.; Caro, V. F.J.; Medina, T. R.; Ortiz C. M.; Espinoza, C. A.; Vidal, M. V. A.; Ortega, C. A. (2010)** Contribución genética del criollo jala en variedades eloteras de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 33(4): 63-67. Disponible en línea: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v33nspe4/v33nspe4a13.pdf>
- Vega, B. J.; Alvarado, A. P.; Sibajo, B. R.; Moya, P. M. y Nikolaeva N. S. (2005)** Obtención y caracterización de disoluciones en polietilenglicol (PEG) a partir de residuos de olote de la agroindustria de maíz. Síntesis de polímeros potencialmente biodegradables. *Revista Iberoamericana de polímeros* 6 (3): 20-24
- Vergara, A. N.; Rodríguez, H. S.; Córdova, O. H (2005)** Aptitud combinatoria general y específica de líneas maíz (*Zea mays*) tropical y subtropical. *Agronomía Mesoamérica* 16(2): 137-143. Disponible en línea: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43716203>

Wong, R. R; Gutierrez, R. E; Palomo, G. A; Rodriguez, H. S; Cordova, O. H; Espinoza, B. A; Lozano, G. J.J. (2007) Aptitud combinatoria de componentes de rendimiento en líneas de maíz para grano en la Comarca Lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30(2): 181-189. Disponible en línea: <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/30-2/10a.pdf>

