

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**



**CLASIFICACIÓN DE LÍNEAS DE MAÍZ EN GRUPOS  
HETERÓTICOS ATRAVÉS DE PROBADORES DE REDUCIDA  
BASE GENÉTICA**

Por:

**ONEIDA JANETH HERNÁNDEZ RAMÍREZ**

**TESIS**

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el  
Titulo de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

MARZO, 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

"ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

TESIS

CLASIFICACIÓN DE LÍNEAS DE MAÍZ EN GRUPOS  
HETERÓTICOS ATRAVÉS DE PROBADORES DE REDUCIDA  
BASE GENÉTICA

Por:

ONEIDA JANETH HERNÁNDEZ RAMÍREZ

Que somete a la consideración del H. jurado examinador como requisito para  
obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobado por:

  
\_\_\_\_\_

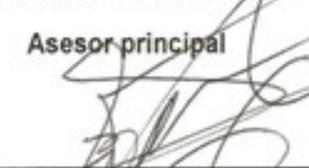
M. C. Daniel Sámano Garduño

Asesor principal

  
\_\_\_\_\_

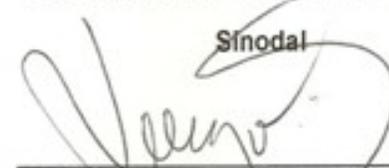
Dr. Humberto de León Castillo

Sinodal

  
\_\_\_\_\_

Dr. Víctor Manuel Zamora Villa

Sinodal

  
\_\_\_\_\_

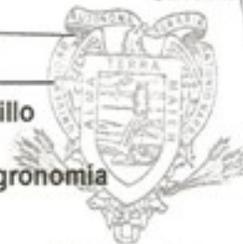
Dr. José Espinoza Velázquez

Sinodal

  
\_\_\_\_\_

Dr. Mario E. Vázquez Badillo

Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación  
División de Agronomía

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México

Marzo, 2011

## AGRADECIMIENTO

A la **UAAAN** por la oportunidad en mi formación como profesionista. Sin duda alguna es y seguirá siendo una de las mejores universidades.

Al **M. C. Daniel Sámano Garduño** por la paciencia, dedicación y tiempo en este trabajo, además de ser un excelente profesor y un buen amigo. Dios le bendiga.

Al **Dr. Humberto de León Castillo** por el apoyo brindado en la elaboración de este trabajo.

Al **Dr. Víctor Manuel Zamora Villa** por brindarme la oportunidad de realizar el servicio social enseñándome técnicas para el mejoramiento genético y sobre todo por su amistad incondicional que me ofreció como alumna, así como el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo.

Al **Dr. José Espinoza Velázquez** por emplear tiempo en la revisión de este trabajo.

Al **Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo** por enseñarme que la humildad es la base del triunfo.

A la **M. C. Beatriz Eugenia Treviño** Cueto por apoyar en la captura de datos y análisis estadísticos.

A la **Bióloga Silvia Pérez Cuellar** por su amistad sincera y consejos para mi formación personal y profesionista.

A la **Lic. Sandra Roxana López Betancourt** por apoyarme en el acomodo final e impresión del este trabajo.

Al **M. C. Cirilo Cahuare Ramos** por su amistad incondicional.

A mis amigos de la carrera **Diana, Benito, Gibran, Verónica, Roberto** y compañeros de generación gracias por los momentos especiales.

A mis amigas inolvidables **Kenny Yuridia Ortiz Borrallés y Ana Laura Escobar Vázquez**. Por las grandes aventuras de estudiante y por la valiosa amistad que nos unirá siempre.

## **DEDICATORIA**

**A DIOS** por ser el autor de mi vida y el mejor amigo en este viaje increíble, ayudándome a enfrentar circunstancias difíciles y festejando los momentos de felicidad, manteniéndome en pie para completar mi preparación.

### **A MI PADRE**

Por los buenos principios inculcados desde mi niñez y la proyección de planes a futuro en mi vida y en la de mis hermanos, gracias a El hoy se ha cumplido uno de ellos.

### **A MI MADRE**

Quien me dio la vida y se esforzó para sacarme adelante, no importando las circunstancias. Siendo una amiga en todo momento.

### **A MIS HERMANOS**

Ever, Gama y Eric que son una bendición en mi vida y el mejor regalo que Dios me ha obsequiado.

### **A RALPH WEVER**

Por ser una maravillosa persona y por formar parte de la familia.

### **A CAR**

Quien me apoya en todo momento, demostrándome que no hay nada imposible. Primeramente Dios saldremos adelante con nuestros planes.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
Índice de cuadros.....	vi
Índice de figuras.....	vii
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos.....	3
1.2 Hipótesis.....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Mejoramiento genético.....	4
2.2 Hibridación.....	5
2.3 Interacción genotipo ambiente.....	7
2.4 Aptitud combinatoria general y específica.....	10
2.5 Líneas.....	12
2.6 Probadores.....	13
2.7 Línea por probador.....	14
2.8 Patrones y grupos heteróticos.....	16
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
3.1 Material genético.....	19
3.2 Descripción de las localidades.....	21
3.3 Descripción de las parcelas.....	22

3.4 Labores culturales.....	22
3.5 Variables agronómicas evaluadas.....	23
3.6 Rendimiento ajustado por covarianza.....	27
3.7 Análisis estadístico.....	27
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>33</b>
4.1 Análisis de varianza general.....	33
4.2 Exploración de la interacción genotipo ambiente e Identificación de los mejores genotipos para rendimiento, mediante el grafico biplot del modelo SREG.....	36
4.3 Análisis de línea x probador.....	40
4.4 Relación entre variables y selección de líneas mediante gráficos biplot del modelo SREG.....	42
4.5 Ubicación de las líneas en grupos heteróticos.....	45
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>VI. RESUMEN.....</b>	<b>51</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>53</b>
<b>VIII. APÉNDICE.....</b>	<b>62</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<u>Cuadro</u>	<u>Pág.</u>
<b>Cuadro 3.1.</b> Genealogía de las 158 líneas y los dos probadores.....	20
<b>Cuadro 3.2</b> Genealogía de los híbridos utilizados como testigos.....	21
<b>Cuadro 3.3</b> Características climáticas y ubicación geográfica de las parcelas experimentales.....	21
<b>Cuadro 4.1</b> Concentración del análisis de varianza general combinado de 323 híbridos evaluados en tres localidades para la variable rendimiento de mazorca al 15% de humedad dos de ellas durante el 2008 y una el 2009.....	34
<b>Cuadro 4.2</b> Análisis de varianza general de línea x probador de 158 líneas y dos probadores para la variable rendimiento de mazorca.....	40
<b>Cuadro 4.3</b> Efectos de ACE de 156 cruzas provenientes del apareamiento de 78 líneas de porte normal con dos probadores contrastantes.....	46
<b>Cuadro 4.4</b> Efectos de ACE de 160 cruzas provenientes del apareamiento de 80 líneas de porte enana con dos probadores contrastantes.....	47
<b>Cuadro A1.</b> Resultados de la comparación de medias de rendimiento de las localidades a través de una prueba de Tukey.....	62

**Cuadro A2.** Grupos estadísticos de los mejores híbridos superiores respecto a la variable rendimiento por medio de una prueba de Tukey..... 62

**Cuadro A3.** Resultados de la comparación de medias para la variable rendimiento de las mejores líneas estadísticamente superior por medio de una prueba de Tukey..... 63

## ÍNDICE DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>pág.</u>
<b>Figura 4.1</b> Grafica Biplot GGE de los 316 híbridos experimentales y 7 testigos para las tres localidades. CP1 y CP2= primero y segundo componente principal para la variable rendimiento de mazorca al 15% de humedad.....	37
<b>Figura 4.2</b> Proyección de la figura 4.1 donde se aprecia los híbridos experimentales y testigos (T) más estables.....	39
<b>Figura 4.3</b> Concentracion de las 158 líneas con el probador enano y las siete variables de interes.....	42
<b>Figura 4.4</b> Concentración de las 158 líneas con el probador tropical y las siete variables de interés.....	44
<b>Figura 4.5</b> Comportamiento de ACE de 26 líneas cruzadas con dos probadores.....	48

## I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años la introducción de prácticas tecnológicas basadas en la ciencia ha ayudado a muchos países en desarrollo a alcanzar una relación favorable entre la producción de alimentos y el crecimiento de la población. Dentro de este escenario la política de desarrollo de investigación agrícola orienta el uso eficiente de los recursos genéticos para alimentar al país, que durante los últimos 50 años la población ha crecido cuatro veces: en 1950, había 25.8 millones de personas; en el 2005, ya eran 103.3 millones y en el 2010 se registraron 107.5 millones de habitantes cuya densidad en promedio en el país es de 53 habitantes por kilómetro cuadrado, por ello México se ubica entre los once países más poblados del mundo (INEGI, 2010).

El maíz constituye uno de los cereales de mayor importancia por su utilización en la alimentación humana, animal y últimamente como materia en la producción de biocombustibles. El mejoramiento genético de maíz en México se encuentra en constante crecimiento, gracias a los programas nacionales, que junto con las compañías privadas, buscan mejorar las características agronómicas de este cultivo para lograr el autoabastecimiento.

Para la formación de nuevos y mejores híbridos, es indispensable conocer la relación genética entre las líneas, sobre todo, si éstas provienen de

progenitores no relacionados genéticamente, siendo de gran utilidad para una planeación de cruzamientos exitosos (Betrán *et al.*, 2003). Para ello su clasificación, el agrupamiento y la programación de cruzas a partir de patrones heteróticos específicos para una cierta región, permite una mayor seguridad en la formación de híbridos sobresalientes (De León *et al.*, 1999).

Por lo anterior, el Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, dentro del programa de Bajío han sido identificadas una serie de líneas, de diferentes poblaciones, con buenas características agronómicas, pero se desconoce al grupo heterótico al que pudieran pertenecer. De tal manera que se inició la investigación de estas líneas cruzándolas con dos probadores (enano, otro tropical) contrastantes para clasificarlas, pretendiendo en un futuro generar buenos híbridos a partir de cruzas entre las mejores líneas identificadas. Así, los objetivos que se pretenden en este estudio son:

## **OBJETIVOS**

- Clasificar las líneas en grupos heteróticos contrastantes a través de su respuesta en ACE, utilizando dos cruza simples como probadores.
- Identificar al menos un híbrido triple con buen comportamiento y estabilidad en base a rendimiento, que sea superior a híbridos comerciales actuales y otros testigos.

## **HIPÓTESIS**

- La clasificación de líneas en grupos heteróticos a través de probadores de reducida base genética permitirá la explotación dirigida de la heterosis.
- Debido al potencial presente en líneas y probadores, existirá variabilidad genética en híbridos triples y que al menos uno sea sobresaliente y de buena estabilidad en cuanto a rendimiento de mazorca.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### **Mejoramiento genético**

Para elevar la producción de uno de los cultivos tradicionales como lo es el maíz, es necesario aplicar alternativas factibles de mejoramiento genético en este cultivo orientado hacia las condiciones de productores y agricultores, con la finalidad de aumentar su calidad de vida y sostenibilidad de la agricultura en zonas de producción, presentando al interesado un producto de buena adaptación agronómica, con resistencia a enfermedades, calidad de grano y sobre todo con un alto potencial de rendimiento (Rosas *et al.*, 2006).

La meta principal para un programa de mejoramiento genético en maíz es producir excelentes híbridos involucrando líneas homocigotas como progenitores, con el objetivo de explotar al máximo la heterosis y obtener mejores híbridos uniformes y atractivos para el productor. Sin embargo el esfuerzo y el tiempo hace tardío los resultados, por lo que hoy en día los mejoradores tratan de ser más eficientes optando por la selección temprana de líneas superiores en caracteres agronómicos y buena presencia de aptitud combinatoria general (ACG), para formar híbridos superiores a los existentes (Srinivasan *et al.*, 1993).

El éxito de cualquier programa de mejoramiento genético dependerá de la elección del germoplasma base a considerar dentro del programa. Donde el mejorador requiere de conocimientos amplios del tipo de la acción génica de los materiales, el estudio de los caracteres de importancia económica como alto potencial de rendimiento, resistencia genética a las mayores plagas y enfermedades, entre otros. Donde la elección de variedades para ser usados en el programa dependerá de la media del comportamiento de las variedades, heterósis varietal y variación génica dentro de la población (Navarro *et al.*, 1993).

### **Hibridación**

La hibridación de manera clásica, es la obtención de líneas de primera autofecundación ( $S_1$ ), avance de líneas autofecundadas, prueba de aptitud combinatoria (híbridos simples) y obtención de híbridos dobles o trilineales (Márquez, 2009).

La semilla híbrida de maíz es obtenida de cruzamiento de dos progenitores (parentales) donde uno realiza la polinización (macho) y el otro es receptor del polen la cual también produce la semilla (hembra) y como factor fundamental es la coincidencia y sobre todo el control de la polinización para que haya una buena fecundación para obtener exitosamente la semilla híbrida (Espinosa *et al.*, 2001).

Es de gran importancia desarrollar híbridos que puedan poseer un comportamiento estable a través de ambientes contrastantes, por lo que es necesario someterlos a un análisis de estabilidad y que estos puedan superar al testigo comercial en todos los aspectos (Guerra *et al.*, 2003).

Gómez (2008) menciona que los híbridos expresan su máximo potencial genético siempre y cuando se les proporcione todas las condiciones favorables del cultivo procurando controlar oportunamente plagas, enfermedades, malezas, buena dosis de fertilizante y además sembrar la densidad de plantas adecuada.

Fuentes *et al.* (2002) señalan que la vida útil de un híbrido de maíz esta en constante variación dependiendo de las condiciones del manejo de los progenitores estimando aproximadamente entre 5-8 años, ya que a través del tiempo se desarrollan versiones híbridas nuevas partiendo del germoplasma base y patrón heterótico definido que presente mejores características agronómicas y sobre todo un mayor potencial de rendimiento.

Vergara *et al.* (1998) mencionan que para establecer un buen programa de hibridación, es importante considerar un patrón como también la información de la aptitud combinatoria de las fuentes de germoplasma. Además, consideran que la obtención de un alto nivel de heterosis, se debe combinar progenitores endocriados y no endocriados y que estos pertenezcan a grupos heteróticos opuestos para identificar híbridos con un buen potencial de rendimiento.

El objetivo principal de un programa de hibridación es la selección de una buena fuente de germoplasma donde esta debe de constar con aspectos importantes tales como: características agronómicas deseadas, buen potencial de rendimiento, tolerancia a la endocria, buena habilidad combinatoria, alto potencial de cruzamiento con otras poblaciones de grupos heteróticos opuestos y capacidad de generar progenitores endocriados y no endocriados (Vasal *et al.*, 1990).

### **Interacción genotipo ambiente**

El cultivo de maíz se produce en una gran diversidad de ambientes contrastantes, a pesar de la avanzada investigación, todavía se obtiene muy bajos rendimientos consecuencia de varios factores como son: climáticos (mala distribución de las lluvias), poca fertilidad de suelos, ya que un alto por ciento de área sembrada se realiza en laderas, utilizando un manejo agronómico inadecuado en ocasiones no se aprovecha o no se dispone de material genético apta para la región.

Por lo anterior el estudio de la interacción genotipo x ambiente (GxA) entendida como el comportamiento diferencial de genotipos a través de condiciones ambientales cambiantes, ha sido uno de los principales factores que ha obligado la generación de diferentes metodologías de mejoramiento genético, tanto en etapas de selección de poblaciones segregantes, como en la evaluación de líneas avanzadas. En el primer caso la alternancia de diferentes

ambientes para la selección del germoplasma, y en el segundo, el establecimiento de ensayos uniformes en la más amplia variedad de condiciones persiguiendo la obtención de genotipos estables. Esto es debido a que las variedades mejoradas deben responder favorablemente a las condiciones de producción que serán sometidas (Rodríguez *et al.*, 2002).

Las características que presenta el cultivo de maíz se debe a los fenómenos hereditarios y efectos del medio ambiente, debido a la presencia de muchos genes que a su vez interactúan entre sí en un mismo sitio cromosómico o dominancia de un gen sobre su alelo, y el fenómeno genotipo-ambiente se debe a la interacción entre sitios cromosómicos, donde los efectos de las interacciones dominante y epistática trabajan con los efectos del ambiente (Márquez *et al.*, 2009).

Sánchez *et al.* (2006) caracterizaron y clasificaron 64 genotipos de cacahuate, usando información obtenida bajo dos condiciones ambientales, donde las poblaciones estudiadas exhibieron variabilidad fenotípica en características vegetativas y reproductivas. De acuerdo a los resultados una clasificación completa se logró involucrando tanto los componentes de efectos genéticos genéricos (G) como los efectos genéticos específicos (GxS). Donde la interacción genotipo ambiente resultó significativa para número de frutos inmaduros, reticulación de vaina y porcentaje de cobertura del suelo.

La Interacción Genotipo-Ambiente (IGA) ocurre cuando hay respuestas diferentes de los genotipos en relación con la variación de ambiente. Esta

interacción merece gran importancia en la evaluación de híbridos desarrollados para diferentes circunstancias de producción, por lo que es necesario integrar los conceptos adaptabilidad y estabilidad para definir el comportamiento de genotipos evaluados a través de ambientes contrastantes. Donde la adaptabilidad se refiere a la capacidad de los genotipos de aprovechar ventajosamente a los estímulos del ambiente, en cuanto a la estabilidad se refiere a la capacidad de los genotipos de mostrar un comportamiento altamente previsible en función del estímulo ambiental (Gordon *et al.*, 2006).

Los objetivos de todo mejorador son la estabilidad de rendimiento y la respuesta consistente en diferentes condiciones óptimas en variedades de maíz, las cuales son instrumentos fundamentales para la identificación de germoplasma de gran potencial. Por lo que se necesita mucha precisión en un programa de mejoramiento para seleccionar materiales superiores dentro de un grupo de genotipos cuyas diferencias en potencial de rendimiento son mínimas (Córdova, 1991).

Aguiluz (1998) utilizó el modelo AMMI (análisis de efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas) para obtener la medida de interacción genotipo ambiente, evaluando 30 híbridos de maíz de grano blanco en 12 localidades y 20 híbridos de maíz amarillo en 14 localidades en ambientes de Centroamérica, Panamá y el Caribe. Como testigos empleó los híbridos HB-83 para grano blanco y HB-46 para grano amarillo. Este autor concluyó que seis híbridos blancos superaron al testigo mostrando poca interacción con el ambiente (valores AMMI cercanos a 0) y para los híbridos amarillos, solo dos

superaron al testigo en rendimiento mostrando puntuaciones AMMI cercanas a cero, la cual el modelo fue eficiente y preciso en la medida de interacción GxA.

Otro modelo a utilizar para la obtención de un claro entendimiento de la interacción genotipo-ambiente es el modelo de regresión en los sitios SREG, que incluye en el termino bilineal G+GE refiriéndose al efecto principal del genotipo (G) mas la interacción del genotipo por ambiente (GE) quienes constituyen las dos fuentes de variación del modelo SREG y proporciona un análisis gráfico de fácil interpretación del comportamiento de los genotipos más el efecto de la interacción genotipo-ambiente, denominado biplot GGE (Yan *et al.*, 2000). También el gráfico permite visualizar el agrupamiento de genotipos y ambientes (megambientes) con patrones similares de respuesta, así como identificar los ambientes más representativos y más discriminatorios (Yan *et al.*, 2002).

### **Aptitud combinatoria general y específica**

La aptitud combinatoria general (ACG) designa el comportamiento medio de una línea en combinaciones híbridas y la aptitud combinatoria específica (ACE) aquellos casos en los cuales ciertas combinaciones son relativamente mejores o peores que aquellas que se esperarían en base al comportamiento medio de líneas consideradas (Soto *et al.*, 1990).

La caracterización de los progenitores por su aptitud combinatoria permite establecer las estrategias y técnicas adecuadas para estimar parámetros genéticos y el método de mejoramiento genético adecuado, permitiendo a si seleccionar plantas individuales de combinen las características superiores de los progenitores como también predecir cruzas superiores (Arrieta *et al.*, 2002).

La aptitud combinatoria general proporciona información base sobre las líneas puras donde estas deben producir los mejores híbridos cuando se crucen con muchas otras líneas, así mismo se define como el valor medio de  $F_1$  de sus cruzas con otras líneas, es decir la prueba de ACG y ACE valoriza las líneas progenitoras de los híbridos, logrando determinar la capacidad de las líneas para producir híbridos superiores cuando estas son cruzadas con otras líneas (Fuentes *et al.*, 1993).

Ramírez *et al.* (1998) utilizaron la prueba de ACG en forma tardía y el comportamiento *per se* de dos grupos de líneas con niveles de endogamia  $S_4$  a  $S_7$  como criterio de selección, la cual consistió que durante las primeras tres o cuatro generaciones de autofecundación se seleccione líneas para caracteres agronómicos y posteriormente las líneas seleccionadas son cruzadas con un probador para evaluar su capacidad de combinación. Además esta prueba es útil para reducir el numero de líneas a evaluar y sobre todo orientar anticipadamente al tipo de híbrido a formar.

Vergara *et al.* (2005) estimaron la ACG y ACE de 20 líneas, estas fueron cruzadas con 6 líneas usadas como probador por medio de un análisis de línea x probador, identificando líneas con comportamiento superior en rendimiento en combinaciones híbridas.

Moreno *et al.* (2004) señalaron que para que las cruzas tengan o presenten mayor heterósis, es necesario aumentar la ACG de las poblaciones base y la divergencia genética entre las mismas, para tener éxito en la selección.

## **Líneas**

La alta susceptibilidad de la líneas a la depresión endogámica provoca existencia de pocos cultivares con potencial agronómico, la cual indica que todo programa de mejoramiento debe contar con los mejores estudios de nuevas líneas basados en la heterósis, es decir, en la ganancia genética que el material aporte, como también los efectos de ACG y ACE permiten la selección de aquellos progenitores sobresalientes que participan en el desarrollo de nuevos cultivares ya que la variabilidad permite realizar una buena selección (Mendoza *et al.*, 2000).

Preciado *et al.* (2005) mencionan que la formación de poblaciones sintéticas provenientes del reciclaje de germoplasma elite clasificado por su repuesta heterótica. Constituyen una nueva generación de germoplasma que

pueden ser la fuente de derivación de líneas con mayor respuesta heterótica y mejores atributos agronómicos.

Cervantes *et al.* (2002) señalaron que la heterosis disminuye con el aumento del rendimiento de líneas debido a que la planta llega a su límite de rendimiento y para superarla es necesario adicionarle nuevos genes favorables contrastantes entre líneas que al conjugarse en la cruce pueden contribuir a elevar el rendimiento.

### **Probadores**

Un buen probador es aquel que discrimina y clasifica correctamente el comportamiento de las líneas bajo prueba, permitiendo dirigir cruzamientos y lograr mejores combinaciones, facilitando la generación de nuevos materiales (Rawlings *et al.*, 1962).

El desarrollo de probadores es un proceso de evolución, al principio se pueden utilizar poblaciones, luego variedades experimentales, sintéticos y después, cuando existan progenitores más sofisticados, se necesita tener probadores a nivel de híbridos y de líneas. Estos probadores se pueden crear e identificar durante el proceso de mejoramiento de poblaciones o durante el proceso de desarrollo y evaluación de líneas. Se puede utilizar como probador una línea o una cruce simple proveniente de dos líneas de un mismo germoplasma (Vasal *et al.*, 1994).

Sierra *et al.* (2004) señalaron que el uso de probadores permite separar e identificar grupos de líneas que sirven para formar mejores híbridos. Es importante la identificación de líneas sobresalientes con base a sus efectos de aptitud combinatoria, adaptación, rendimiento y sobre todo que presente estabilidad para poder ser utilizados en un programa de mejoramiento exitoso.

Vega *et al.* (1998) evaluaron 96 líneas ( $S_1$ ) en generaciones tempranas para identificar genotipos prometedoras en un tiempos corto, seleccionando 31 líneas por sus atributos agronómicos y sobre todo con una buena ACG para rendimiento, donde la crusa simple B3 x B5 fue el mejor probador para discriminar materiales considerando principalmente rendimiento de mazorca.

### **Línea por probador**

Peña *et al.* (2004) señalan la importancia de identificar líneas que pueden ser base para generar híbridos de alta producción y sobre todo que este pueda contar con una gran calidad forrajera adaptados al norte centro de México. Los autores sugieren utilizar probadores que manifiesten alta heterosis con las líneas por lo que la divergencia genética entre líneas y cruzas con probadores genera híbridos con buenas características forrajeras y que se expresen de forma exitosa en al menos dos localidades.

Sierra *et al.* (2000) mencionan que el uso de probadores en la selección de líneas, ayuda a la generación de híbridos, ya que permite dirigir cruzamientos y formar combinaciones híbridas, como también separar grupos

heteróticos. Y si existe una buena ACG en líneas, estas pueden ser utilizadas en la formación de híbridos y/o sintéticos.

Lobato *et al.* (2009) señalan que las líneas que presentan baja ACG interaccionan positivamente con probadores de alto rendimiento, permitiendo de manera eficiente identificar materiales de alta ACG susceptibles de usar en la formación de híbridos y variedades sintéticas con alto potencial. Estos mismos autores mencionan que los criterios que utilizo para determinar el mejor probador fueron los siguientes:

- 1) El cuadrado medio de mestizos de cada probador y su correspondiente coeficiente de variación fenotípica (CVF) y genotípica (CVG): donde el mejor probador será el que presente la mayor variación entre sus mestizos.
- 2) La clasificación de ciertas líneas de ACG conocida: el mejor probador será el que ubique a las líneas de ACG conocida en su respectivo grupo de ACG, alta o baja.
- 3) El coeficiente de divergencia (CD): el mejor probador será el que presente el menor coeficiente de divergencia con respecto al orden previamente establecido de las líneas de ACG conocida.
- 4) El efecto del probador y el de la interacción línea  $\times$  probador: el mejor probador será el que presente el menor efecto genotípico y el menor efecto de interacción línea  $\times$  probador con las líneas de ACG alta.

## **Patrones y grupo heteróticos**

González *et al.* (1997) estimaron la aptitud combinatoria de líneas y generaron un patrón heterótico en germoplasma subtropical, seleccionando las mejores cruzas simples con el más bajo por ciento de pudrición de mazorca. Considerando el más alto potencial de rendimiento y sobre todo las buenas características agronómicas. Por medio de la ACE de las cruzas se logro formar dos grupos heteróticos uno A y otro B, donde las cruzas con efectos positivos de ACE pertenecen a grupos heteróticos opuestos y las cruzas con efectos negativos pertenecen a un mismo grupo heterótico.

Terrón *et al.* (1997) afirmaron que la utilización de patrones heteróticos en un programa de formación de híbridos de maíz permite explotar y capitalizar la heterosis; a si mismo, crear una base germoplásmica para generar combinaciones hibridas superiores. También la estabilidad y adaptación de los probadores a través de diferentes ambientes son de gran importancia para realizar una buena determinación del grupo heterótico a la que pertenecen las líneas.

Ramírez *et al.* (2007) señalan que la combinación y complementación entre patrones heteróticos exóticos y adaptados permite diversificar el germoplasma, dando la posible la formación de diferentes tipos de híbridos recobrados originales, obteniendo también nuevos a partir de combinaciones entre las líneas recobradas aprovechando mejor la variabilidad genética.

Félix *et al.* (2003) mencionan que para facilitar el uso de la heterosis y predicción del comportamiento de los híbridos es necesario el establecimiento y uso de grupos heteróticos, por lo que clasifica líneas en dos grupos heteróticos “A” y “B” sometiéndolas a dos generaciones de recombinación y selección para desarrollar dos nuevas poblaciones, exhibiendo altos niveles de heterosis entre sí y constituyendo una fuente de germoplasma. Y así determinar los patrones heteróticos y la ACG y ACE de líneas tropicales blancas de maíz, e identificar híbridos simples superiores.

El conocimiento de la diversidad genética entre el germoplasma es importante para el cultivo de maíz híbrido al momento de planear cruzas entre germoplasma elite, al desarrollar nuevas líneas endocriadas y al asignar genotipos a determinados grupos heteróticos (Xia *et al.*, 2004)

Nestares *et al.* (1999) señalan que la información de especies que exhiben una consistente respuesta heterótica en cuanto al conocimiento de la aptitud combinatoria del germoplasma, en cruzamientos con probadores genéticamente divergente y el comportamiento de los cruzamientos, sirven de criterio de clasificación del material en distintos grupos heteróticos.

Hallauer *et al.* (1988) establecen que la identificación de líneas superiores para la explotación de nuevos híbridos es más práctica cuando se atiende un patrón heterótico, realizando cruzas entre un par de líneas pertenecientes a grupos genéticos contrastantes.

Un grupo heterótico debe de estar bien definido para no tener problemas con líneas que al momento de cruzarse con otras presenten bajo nivel de heterosis con frecuencia observada de 10 al 15%. Analizando el comportamiento de de híbridos interlineales intra e interpoblacionales entre 92 líneas tropicales provenientes de diferentes poblaciones de maíz del CIMMYT, en cruza con cuatro probadores, donde los estudios indican que los híbridos entre líneas de la misma población tiene un comportamiento bajo en comparación con híbridos entre líneas de diferentes poblaciones (Vasal *et al.*, 1993).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### **Material genético**

El material genético utilizado en el presente trabajo partió de 158 líneas cuya genealogía se concentra en el Cuadro 3.1, derivadas de diferentes poblaciones generadas en el IMM de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Las líneas fueron apareadas con dos probadores (híbridos simples) cuya cruza da origen al híbrido AN-452, de buen desempeño agronómico en la región del bajo mexicano, por lo que se asume que los probadores pertenecen a grupos heteróticos opuestos.

La cruza de las líneas con ambos probadores originaron 316 cruza triples que fueron comparadas con siete testigos, donde tres de ellos son comerciales pertenecientes a empresas privadas y cuatro son materiales del IMM (Cuadro 3.2).

**Cuadro 3.1.** Genealogía de las 158 líneas y los dos probadores.

línea	Genealogía	línea	Genealogía	línea	Genealogía	línea	Genealogía	línea	Genealogía	línea	Genealogía
1	V524-4119HC-32-2-4-2	28	CML-318-A-1	55	E197-2	82	(PEEC1)-15-6-3-3	109	PE-114-2-12	136	PE-115-3-1-11-2
2	V524-4119HC-43-3-2-1-2	29	CML-318-A-2	56	E197-4	83	(PEEC1)-25-1-2-1	110	PE-114-2-15	137	PE-115-3-1-11-4
3	V524-4119HC-43-3-2-2-1	30	CML-318-A-4	57	E197-5	84	(PEEC1)-25-2-2-2	111	PE-114-2-16	138	PE-115-3-1-12-1
4	V524-4119HC-43-3-2-4-1	31	CML-318-A-5	58	E197-6	85	(PEEC1)-25-2-2-3	112	PE-114-3-A-A-1-4-2	139	PE-115-3-1-13-3
5	V524-4119HC-43-3-2-4-2	32	CML-318-A-7	59	MH-2-2-1-1	86	(PEEC1)-25-2-2-4	113	PE-114-3-A-A-2-2-1	140	PE-115-3-1-2-2
6	V524-4119HC-43-3-2-4-3	33	CML-318-1-2	60	MH-2-2-1-2	87	(PEEC1)-35-3-1-3	114	PE-114-3-A-A-2-3-1	141	PE-115-3-1-8-2
7	V524-4119HC-183-2-1	34	CML-318-1-3	61	MH-2-2-1-3	88	(PEEC1)-35-5-2-1	115	PE-114-3-A-A-3-1-2	142	PE-115-3-2-2
8	V524-4119HC-203-1-1	35	CML-452-1-1	62	MH-2-2-3-1	89	(PEEC1)-35-5-4-1	116	PE-114-3-A-A-3-2-1	143	PE-115-3-3-2-2
9	V524-4119HC-211-2-2	36	CML-452-1-2	63	MLN-1-1-A-5-1-A-1	90	(PE-106-8xLBCPC4S4)-2-A-2-1-3	117	PE-114-3-A-A-3-2-2	144	PE-212-1-1
10	V-524-7	37	CML-482-A-3	64	MLN-1	91	(PE-106-8xLBCPC4S4)-2-A-2-2-1	118	PE-114-3-A-A-3-2-3	145	PE-212-1-2
11	CLQ-66-04-1-3	38	CML-482-A-5	65	MLN-3	92	(PE-106-8xLBCPC4S4)-2-A-2-2-2	119	PE-114-3-A-A-3-5-1	146	PEGC1-1-3-1
12	CLQ-66-04-1-4	39	CML-482-A-8	66	MLN-4	93	(PE-106-8xLBCPC4S4)-2-A-2-3-1	120	PE-114-3-A-A-4-1-1	147	LBCPC4S4-3
13	CML-150-A-3	40	CML-482-A-12	67	MLN-5	94	(PE-106-8xLBCPC4S4)-2-A-2-3-3	121	PE-114-3-A-A-4-1-2	148	LBCPC4S4-4
14	CML-150-A-6	41	CML-482-A-13	68	MLN-7	95	(PE-203-2xPE-105-1)-1-A-7-3-1	122	PE-114-3-A-A-4-1-3	149	LBCPC4S4-A-1
15	CML-150-A-11	42	CAFIME-176-3-2-2-3-1	69	53-36-37N-10-2-A-1-1-A-1-2	96	(PE-203-2xPE-105-1)-1-A-7-3-2	123	PE-114-3-A-A-4-2-1	150	LBCPC4S4-A-7
16	CML-150-1-1	43	E90-2	70	53-36-37N-10-2-A-1-1-A-1-4	97	(PE-203-2xPE-105-1)-1-A-7-4-2	124	PE-114-3-A-A-4-2-2	151	LBCPC4S4-A-8
17	CML-312-A-1	44	E90-5	71	53-36-37N-10-2-A-1-1-A-1-7	98	(PE-203-2xPE-105-1)-1-A-7-4-4	125	PE-114-3-A-A-4-3-1	152	LBCPC4S4-A-9
18	CML-312-A-2	45	E94-2	72	(6310*BULK-3x6320-6)-A-2	99	(NE) MLS4-1-1-2-2	126	PE-114-3-A-A-4-3-3	153	LBCPC4S4-2-2
19	CML-312-A-3	46	E94-4	73	255-18-19N-14-1-A-4-2-A-2	100	(NE) MLS4-1-2-2-1	127	PE-114-3-A-A-4-3-6	154	LBCPC4S4-2-4
20	CML-312-A-4	47	E174-5	74	255-18-19N-14-1-A-4-2-A-1	101	(NE) MLS4-1-2-2-2	128	PE-114-3-A-A-4-4-2	155	LBCPC4S4-2-A-1
21	CML-312-A-5	48	E174-6	75	255-18-19N-14-1-A-4-2-A-3	102	PE-112-7-A-A-1-1-1	129	PE-114-3-A-A-4-4-3	156	LBCPC4S4-2-A-3
22	CML-312-A-7	49	E174-7	76	255-18-19N-14-1-A-4-2-A-7	103	PE-112-7-A-A-1-1-2	130	PE-114-3-A-A-4-4-5	157	(PEEC1)-15-1-5-2
23	CML-312-A-11	50	E195-1	77	255-18-19N-14-1-A-4-2-A-8	104	PE-112-7-A-A-1-1-3	131	PE-114-3-A-A-4-5-2	158	(PEEC1)-15-1-6-1
24	CML-312-A-13	51	E195-3	78	232-10-11-1RC4N-13-1-2-3	105	PE-112-7-A-A-3-2-4	132	PE-114-3-A-A-5-1-1		
25	CML-312-1-5	52	E195-5	79	(PEEC1)-15-1-6-2	106	PE-112-7-A-A-4-7-5	133	PE-114-3-A-A-5-2-2		PROBADORES
26	CML-312-3-1	53	E195-6	80	(PEEC1)-15-1-6-4	107	PE-114-2-9	134	PE-115-3-1-1	P1	(MLS4-1x323-10-11-1-A-A)
27	CML-312-3-3	54	E195-7	81	(PEEC1)-15-6-3-1	108	PE-114-2-11	135	PE-115-3-1-3	P2	(351-296-1-6-Ax43-46-2-3-2)

**Cuadro 3.2** Genealogía de los híbridos utilizados como testigos.

TES	DEN	NIVEL	PROC
T1	AN-452	Comercial	IMM-UAAAN
T2	DK-2020	Comercial	MONSANTO
T3	(351x4346)x10-11	Experimental	IMM-UAAAN
T4	30 G 45	Comercial	PIONNER
T5	MLS4-1 x 10-11	Experimental	IMM-UAAAN
T6	PUMA	Comercial	MONSANTO
T7	MLS4-1 x PE-115-3	Experimental	IMM-UAAAN

TES=testigo; DEN=denominación; PROC=procedencia; IMM=Instituto Mexicano del Maíz; UAAAN=Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

### Descripción de las localidades

Los experimentos fueron establecidos durante el ciclo primavera – verano del 2008 en el Prado Galeana, N.L; Celaya, Gto. y nuevamente en el prado Galeana, N.L en el 2009. La descripción de las localidades se menciona en el Cuadro 3.3.

**Cuadro 3.3** Características climáticas y ubicación geográfica de las parcelas experimentales.

Localidad	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altura (msnm)	Temperatura Media Anual °C	Precipitación Pluvial (mm)
<b>Celaya, Gto.</b>	20 <sup>0</sup> 32'	100 <sup>0</sup> 49'	1754	21	597
<b>El prado, NL</b>	24 <sup>0</sup> 12'	100 <sup>0</sup> 05'	1890	18	300

INEGI, 2005

## **Descripción de la parcela experimental**

La parcela experimental consistió en un surco de 5 m de longitud con 35 plantas, el ancho de surco para Celaya fue de 0.75 m y para El Prado fue de 0.92 m.

El esquema de siembra fue bajo el diseño de bloques incompletos al azar con un arreglo alfa-látice (0,1) con dos repeticiones por localidad.

La fecha de siembra fue el 23 de mayo, 2008 para Celaya y para la localidad de El Prado fueron el 28 de mayo de 2008 y el 9 de mayo de 2009.

## **Labores culturales**

### **Siembra**

Esta actividad se realizó a mano con el fin de evitar errores en la siembra y sobre todo la obtención de una buena emergencia de semilla, depositando 35 semillas en cada parcela.

### **Fertilización**

Para Celaya, Gto. la dosis de fertilización fue de 180-90-90 ha<sup>-1</sup> y de 120-60-60 para El Prado, Galeana, NL. Todo el fósforo y la mitad de nitrógeno se aplicó al momento de la siembra, el resto del nitrógeno se aplicó al primer cultivo.

## **Riegos**

El primer riego fue aplicado en las tres localidades antes de la siembra para la emergencia de las plantas y de acuerdo a las necesidades del terreno según sus características climatológicas, se realizaron los riegos necesarios variando en cada localidad.

## **Control de malezas**

En los tres ambientes se utilizó un herbicida pre-emergente denominado Primagram Gold (cuyo ingrediente activo es S-Metalaclor + Atrazina) a razón de 4 L ha<sup>-1</sup> aplicado después del riego de siembra y un cultivo a los 40 días de la siembra. Realizando de forma oportuna las aplicaciones para obtener los mejores resultados.

## **Cosecha**

Esta actividad se realizó manualmente por parcela, para obtener los mejores resultados, posteriormente se tomaron datos como son: peso de campo y por ciento de humedad.

## **Variables agronómicas evaluadas**

Floración masculina (FM). Son los días transcurridos desde la fecha de siembra hasta que el 50 % de las plantas presenten anteras dehiscentes de la parcela experimental, correspondiente a cada tratamiento.

Floración femenina (FF). Son los días transcurridos desde la fecha de siembra hasta que el 50 % de las plantas presenten estigmas receptivos de la parcela experimental, correspondiente a cada tratamiento.

Sincronía floral (SF). Diferencia expresada en días transcurridos entre la floración masculina y floración femenina.

Altura de planta (AP). Longitud existente entre la base del tallo y la base de la espiga u hoja bandera. Tomando como medida una planta representativa de cada parcela experimental, expresando su valor en centímetros (cm).

Altura de mazorca (AM). Longitud que existe desde la base del tallo y el primer nudo de inserción de la mazorca principal. Eligiendo una planta representativa de cada parcela experimental para este dato y expresando su valor en centímetros (cm).

Relación mazorca-planta (RMP). Relación que existe entre la altura de la planta y la inserción de la mazorca principal expresado en por ciento.

$$RMP = (AP/AM) \times 100$$

Acame de raíz (AR). Plantas acamadas por parcela, que presentaron una inclinación mayor de 30° con respecto a la vertical, expresada en por ciento.

Acame de tallo (AT). Plantas en la parcela que presentan el tallo quebrado debajo de la mazorca, con relación al número total de plantas por parcela expresado en por ciento.

Mala cobertura (MC). Son las mazorcas que no estuvieron cubiertas totalmente por el totomoxtle (brácteas), principalmente las puntas de las mazorcas. Se expresada en por ciento en relación al total de mazorcas cosechadas.

Plantas con *Fusarium* (PF). Relación que existe entre el número de plantas enfermas y el total de plantas presentes en la parcela experimental, expresado en por ciento.

Calificación de planta (CALP). Es el valor que se le asigna de manera visual, considerando el aspecto general de la planta, utilizando una escala de 1 a 5, donde 1 es muy bueno y 5 es muy malo.

Calificación de la mazorca (CALM). Son las mazorcas que presentan una apariencia visual tomando en cuenta los daños ocasionados por insectos o enfermedades, tamaño y uniformidad de la misma. La escala asignada fue del uno al cinco, donde uno es muy bueno y cinco es muy malo.

Prolificidad (PROL). Es el numero de mazorcas cosechadas entre número de plantas cosechadas expresado en porcentaje.

$$\text{PROL} = (\text{núm. de mazorca} / \text{núm. del plantas}) * 100$$

Plantas cosechadas (PLC). Total de plantas cosechadas dentro de cada parcela experimental.

Peso de campo (PC). El valor en base al peso que tuvo el maíz en mazorca al momento de la cosecha. Expresado en kilogramos (kg).

Por ciento de humedad (%H). Se tomo las mazorcas representativas de cada parcela, obteniendo de ellas 250 gramos de semillas. Posteriormente se sometió al aparato *Dickie Jhon* (determinador de humedad) para leer el por ciento de humedad.

Rendimiento de Mazorca (REND). Este valor se expresó en toneladas por hectárea al 15.5 % de humedad para estimar el rendimiento. Multiplicando el peso seco de las mazorcas de cada parcela experimental por el factor de conversión.

$$PS = (100-\%H)/100 * PC$$

Donde:

% H = porcentaje de humedad del grano a la cosecha por parcela; PC = peso de campo en kg. Con el fin de obtener el rendimiento verdadero, se realizó el factor de conversión. (FC).

$$FC = (10000m^2/APU*0.845*1000)$$

Donde:

APU = área de parcela útil. El producto de la distancia entre surcos por la distancia entre plantas por el número exacto de plantas por parcela útil; 0.845 = constante para la obtención del rendimiento al 15.5% de humedad; 1000 = coeficiente para la obtener el rendimiento en ton ha<sup>-1</sup>; 10000= el valor de una hectárea en m<sup>2</sup>.

## **Rendimiento ajustado por covarianza.**

Debido a las condiciones fortuitas del ambiente y al manejo, se tuvo diferente número de plantas en las parcelas, afectando la expresión del rendimiento. Buscando de algún modo corregir lo anterior se llevo a cabo un análisis de covarianza para explicar la varianza del error. Ajustando el rendimiento en base a la siguiente formula:

$$Y_{ij} = y_{ij} - b_i (X - A)$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Rendimiento corregido por covarianza;  $y_{ij}$  = Rendimiento observado;  $b_i$  = Coeficiente de regresión ajustado;  $X$  = Número de plantas cosechadas por parcela;  $A$  = promedio de plantas cosechadas en el experimento.

## **Análisis estadístico**

Utilizando el paquete estadístico SAS, se realizó un análisis de varianza combinado a través de localidades con la finalidad de conocer el comportamiento de los híbridos y testigos, así como las diferencias estadísticas que presentan, en cuanto a rendimiento de mazorca. Siguiendo el presente modelo lineal.

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_{j(i)} + \lambda_k + \lambda\alpha_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$y_{ijk}$  = Variable de respuesta;  $\mu$  = media general;  $\alpha_i$  = efecto de la  $i$ -ésima localidad;  $\beta_{j(i)}$  efecto del  $j$ -ésimo bloque dentro de la  $i$ -ésima localidad;  $\lambda_k$  = efecto del  $k$ -ésimo híbrido;  $\lambda\alpha_{ik}$  = efecto de la interacción del  $k$ -ésimo híbrido en la  $i$ -ésima localidad;  $\varepsilon_{ijk}$  = efecto del error experimental.

Para apreciar más a fondo el comportamiento de los híbridos, se realizó la partición de dicha fuente en híbridos experimentales y testigos así como híbridos por localidad, realizando comparaciones por medio de contrastes ortogonales.

También se llevó a cabo un análisis de “línea x probador” tal como lo indican Singh y Chaudhary (1985) particionado en sus diversos componentes con el fin de detectar diferencias estadísticas y estimar la aptitud combinatoria general. Bajo el siguiente modelo lineal.

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_{j(i)} + L_k + P_l + LP_{kl} + \alpha L_{ik} + \alpha P_{il} + \alpha LP_{ikl} + \xi_{ijkl}$$

Donde:

$Y_{ijkl}$  = variable de respuesta;  $\mu$  = efecto de la media general;  $\alpha_i$  = efecto de la  $i$ -ésima localidad;  $\beta_{j(i)}$  = efecto del  $j$ -ésimo bloque dentro de la  $i$ -ésima localidad;  $L_k$  = efecto de la  $k$ -ésima línea;  $P_l$  = efecto del  $l$ -ésimo probador;  $LP_{kl}$  = efecto de la  $k$ -ésima línea en el  $l$ -ésimo probador;  $\alpha L_{ik}$  = efecto de la  $K$ -

ésima línea en la i-ésima localidad;  $\alpha P_{il}$  = efecto del l-ésimo probador en la i-ésima localidad;  $\alpha LP_{ikl}$  = efecto de la k-ésima línea en el l-ésimo probador en la i-ésima localidad;  $\xi_{ijkl}$  = error experimental.

Se realizó una prueba de **Tukey** con la finalidad de identificar híbridos y líneas con un comportamiento superior estadísticamente a través de la siguiente fórmula.

$$Tukey = \left( T \frac{\alpha}{2} T G \right) \times \left( \sqrt{\frac{cmee}{r}} \right)$$

Donde:

$Cmee$  = cuadrados medios del error;  $r$  = repeticiones;  $T = t$  de tablas.

### **Análisis de regresión en los sitios (SREG)**

Debido a la importancia del fenómeno interacción genotipo ambiente se realizó una exploración del mismo mediante el modelo SREG, aplicado por primera vez por Zobel y Gauch (1988).

El modelo multiplicativo SREG genera una gráfica GGE, donde de manera conjunta analiza los efectos del genotipo y de la interacción genotipo-ambiente, clasificando los mejores genotipos a través de los ambientes. Realizado bajo el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + R_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$ = Rendimiento del i-ésimo genotipo en el j-ésimo ambiente;  $\mu_j$ = Media en la localidad j;  $n$ = número de componentes principales;  $\lambda_k$ = valor singular (autovalor) del eje n del ACP de la interacción;  $\alpha_{ik}$ = vector propio unitario (eigenvector) del genotipo  $i$  para el eje del n-ésimo;  $\gamma_{jk}$ = vector propio unitario (eigenvector) del ambiente  $j$  para el eje n-ésimo;  $R_{ij}$ = residual del modelo.

Mediante este modelo, se tomó en cuenta los ambientes ideales que presentaron un vector de mayor longitud. Se optó por realizar una expansión y trazar el probador virtual para identificar los mejores híbridos cercanos al probador virtual.

Para López (2009) el índice de selección es la metodología para hacer selección de manera simultánea para varias características, tomando en consideración los aspectos genéticos y la importancia económica de las características involucradas. Sin embargo, en este estudio se pretende identificar las relaciones que existen entre las variables agronómicas y sobre todo seleccionar las mejores líneas para cada una de ellas según su probador, por lo que se recurrió al modelo SREG que genera un grafico biplot donde las localidades fueron consideradas como variables.

Los parámetros de medición que poseían las variables se expresaban en (toneladas, centímetros, porcentajes, días, etc.) por lo que fue necesario estandarizar los valores para la combinación de distintas variables, bajo la siguiente fórmula.

$$Z = \frac{Y_j - \bar{Y}}{S}$$

Donde:

Z= valor estandarizado;  $Y_j$ = valor observado;  $\bar{Y}$ = promedio; S= desviación estándar.

Al estandarizar los datos se presentaron valores positivos y negativos (valores por arriba y abajo de la media, respectivamente). Para la selección de las líneas en cuanto a rendimiento, se desean valores positivos, mientras que para las demás variables (CALM, FM, RMP, AR, MC, PF) son de interés los negativos. Para modelar esta información a través de las gráficas biplot fue necesario cambiar el signo de los datos estandarizados de estas últimas para uniformizar el criterio de selección.

### **Clasificación de líneas en grupos heteróticos**

Los cruzamientos de las 158 líneas con sus respectivos probadores facilitaron la estimación de los efectos de ACE mediante la siguiente fórmula:

$$g_l = \frac{x_{i...}}{PrL} - \frac{x_{....}}{lPrL}$$

$$g_p = \frac{x_{.i..}}{lrL} - \frac{x_{....}}{lPrL}$$

$$s_h = \frac{x_{ij..}}{rL} - \frac{x_{i..}}{PrL} - \frac{x_{.j..}}{lrL} + \frac{x_{....}}{lPrL}$$

Donde:

$g_l$  = aptitud combinatoria de las líneas;  $g_p$  = aptitud combinatoria general de los probadores;  $s_h$  = aptitud combinatoria especifica de los hibridos;  $l$  = numero de líneas;  $P$  = numero de probadores;  $r$  = numero de bloques;  $L$  = numero de localidades.

Considerando el valor de ACE de las cruzas para rendimiento, se tiene que sí el estimado presenta un valor positivo se toma que la línea que se cruzo con ese probador pertenece al grupo opuesto, mientras que los estimados negativos indican que la línea cruzado con ese probador pertenecen al mismo grupo heterótico.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **Análisis de varianza general.**

En el Cuadro 4.1 se concentra los cuadrados medios del análisis de varianza general combinado de dos localidades en tres ambientes , donde se puede observar que la fuente de variación localidades mostró diferencias significativas ( $P=0.01$ ) estos resultados reflejan que el manejo agronómico posiblemente no fue el mismo para cada localidad, influyendo también las condiciones climáticas y ubicación geográfica de las localidades (Cuadro 3.3), resaltando que El prado, N. L. se utilizó como dos localidades pero en diferente año, siendo la del 2008 la mejor estadísticamente en base a una prueba de Tukey (Cuadro A1). Por lo tanto las diferencias entre ambientes y años pueden cambiar la magnitud de la respuesta relativa de los cultivares en ambientes contrastantes (Córdova, 1991).

En la fuente de bloques dentro de localidad se observó que existe diferencias significativas ( $P=0.01$ ), indicando que el diseño de alfa-látice fue totalmente eficiente, esto se debe a que no existió homogeneidad en el terreno quizás por el manejo que se le dio al lote o bien por las condiciones propias del terreno.

La fuente de variación híbridos presento diferencias estadísticas ( $P=0.01$ ), probablemente a que el origen de estos genotipos fueron formados con diferente fondo genéticos (líneas y probadores) y a la diversidad de materiales, ya que además de los híbridos experimentales se incluyeron híbridos comerciales de empresas privadas e IMM.

**Cuadro 4.1** Concentración del análisis de varianza general combinado de 323 híbridos evaluados en tres localidades para la variable rendimiento de mazorca al 15% de humedad dos de ellas durante el 2008 y una el 2009.

F.V	GL	SC	CM	
Localidades (L)	2	14,372.805	7,186.403	**
Bloques/L	3	411.558	137.186	**
Híbridos (H)	322	4,119.931	12.795	**
Experimentales (E)	315	4,030.106	12.794	**
Testigos (T)	6	41.456	6.909	
E vs. T	1	45.781	45.781	**
H x L	644	3,409.774	5.295	**
E x L	630	3,343.557	5.307	**
T x L	12	38.805	3.234	
EE.	972	3,479.665	3.580	
C. V	18.624			
Media gral.	10.159			
Media exp.	10.132			
Media test.	11.115			

\*\*significativo al 0.01 de probabilidad respectivamente; fuentes de variación (F.V); grados de libertad (GL); suma de cuadrados (SC); cuadrados medios (CM); coeficiente de variación (CV).

A causa de esa variabilidad, se particionó la suma de cuadrados de híbridos en experimentales y testigos. Encontrando que los experimentales mostraron diferencia significativa ( $P=0.01$ ), debido a que las líneas se cruzaron con dos probadores pertenecientes a grupos diferentes. Siendo los mejores

genotipos las cruzas 97, 55, 182, 83, 171 y 69 estadísticamente según la prueba de Tukey (Cuadro A2).

En cuanto a los testigos, no presentaron diferencia alguna, indicando que los testigos del IMM y los de empresas privadas tienden a comportarse de manera similar. El mejoramiento que se ha utilizado es eficiente ya que se tienen híbridos con rendimientos similares a los comerciales.

Los híbridos experimentales en contraste con los testigos presentaron diferencia significativa ( $P=0.01$ ), debido a que estos no tienen un comportamiento similar entre ellos, siendo superior la media de los testigos, era de esperarse este resultado ya que la mayoría del material genético es experimental donde se desconoce el comportamiento de las combinaciones, teniendo por lo tanto, algunos con baja productividad.

La interacción de híbridos x localidad resulto con diferencias significativas ( $P=0.01$ ), infiriéndose que los genotipos mostraron un orden diferente a través de las localidades involucradas, por tal motivo se desgloso en experimentales x localidad y testigos x localidad.

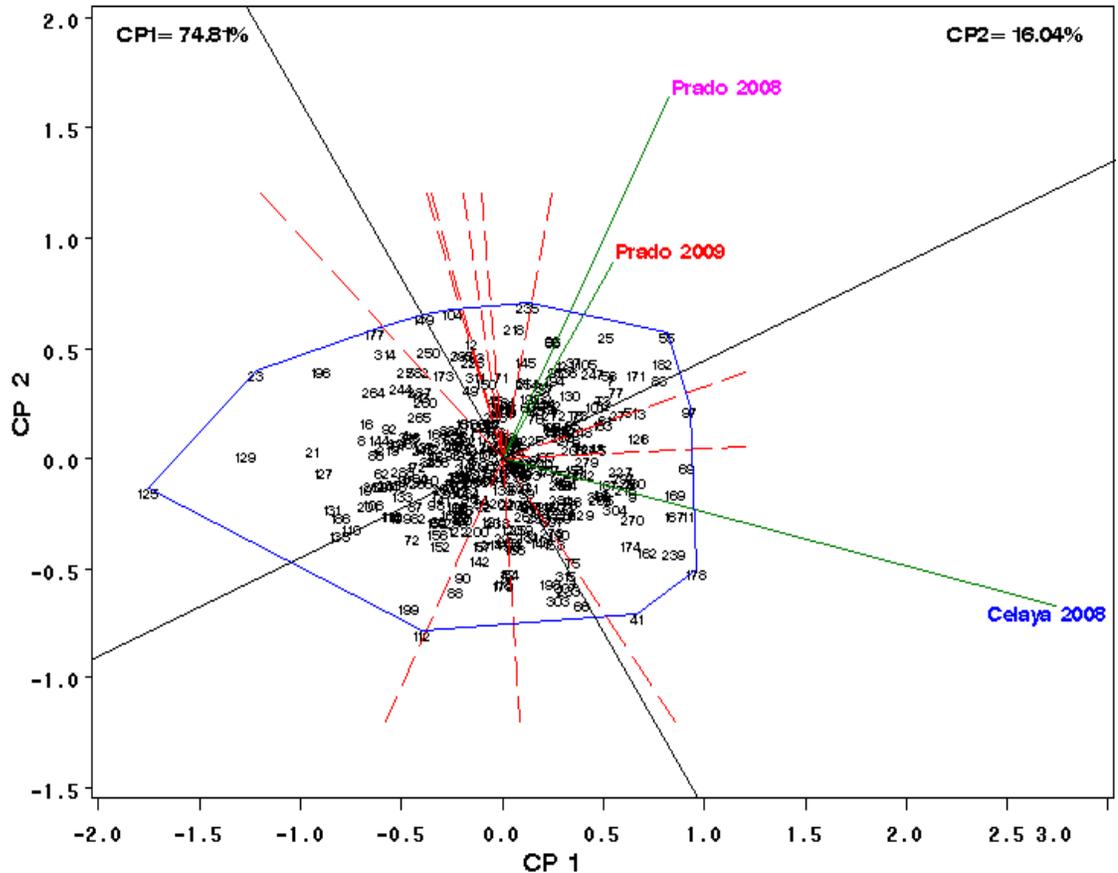
De tal manera que la interacción de los experimentales x localidad resulto ser significativo ( $P=0.01$ ), con esto favorece la selección de los mejores genotipos en cuanto a estabilidad. Por otro lado la interacción de testigos por localidad fue lo contrario al no presentar significancia manteniendo estabilidad en las localidades, este ultimo era de esperarse debido a que al ser considerados como testigos y algunos de ellos ser comerciales, es indicativo

que han pasado por varias pruebas y tienen la capacidad de ser estables, como se corrobora en este estudio.

Al existir significancia en los híbridos por localidad y con la finalidad de considerar la estabilidad en el proceso de selección, fue necesario acudir a modelos estadísticos específicos que puedan permitir un claro entendimiento de la IGA, para predecir de una forma más concreta la identificación de los mejores genotipos para rendimiento y estabilidad. Siendo el modelo de regresión en los sitios (SREG), utilizado también por Peña (2008).

### **Exploración de la interacción genotipo ambiente e Identificación de los mejores genotipos para rendimiento, mediante el grafico biplot del modelo SREG.**

Con la finalidad de visualizar el comportamiento de los genotipos a través de las localidades en la Figura 4.1 se aprecia que el comportamiento de las localidades originó dos ambientes diferentes; uno formado por El Prado 2008 y 2009, que era de esperarse debido a que se utilizó la misma localidad pero en diferente año. El otro ambiente, lo formó Celaya por encontrarse en otro sector diferente. Estas localidades tienen la cualidad de clasificar los genotipos de manera diferente, pero debido a que los ángulos formados entre ellas no fueron mayores a  $90^{\circ}$  no existe interacción cruzada, de tal manera que se puede realizar una mejor selección de materiales.



**Figura 4.1** Grafica Biplot GGE de los 316 híbridos experimentales y 7 testigos para las tres localidades. CP1 y CP2= primero y segundo componente principal para la variable rendimiento de mazorca al 15% de humedad.

La localidad de Celaya y El Prado en el 2008 poseen un vector más largo, indicando que estas dos tuvieron un mayor poder discriminatorio. Todo lo contrario se presentó en la localidad de El Prado 2009, con un vector corto.

Con respecto al ángulo muy reducido entre la localidad de El Prado 2008 y El Prado 2009, se puede inferir que clasificaron de una manera similar a los genotipos, es decir podríamos prescindir de algunos de estos años sin perder precisión en la selección.

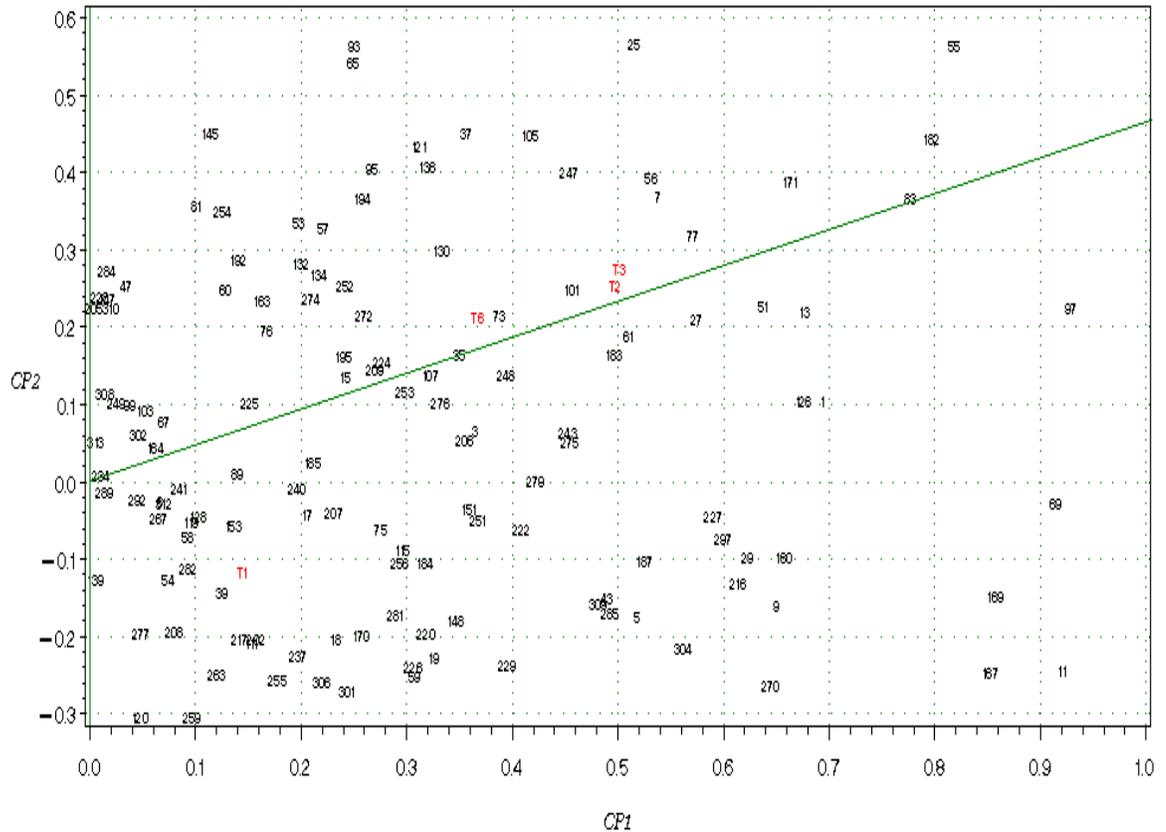
Se realizó una selección de genotipos con buen comportamiento para cada localidad. Para El Prado 2008 y 2009 fueron los híbridos 83, 235, 218, 66, 25, 55, 171, 77 y 182. Para la localidad de Celaya los mejores fueron el 97, 13, 69, 169, 11, 239, 178, 187 y 41.

Es conveniente resaltar que la grafica anterior explica el 90.85% de la interacción genotipo ambiente (IGA).

Para observar de una mejor manera los materiales de interés, se opto por realizar una expansión que se muestra en la Figura 4.2.

De acuerdo a esta proyección se visualiza que el 20% de los híbridos experimentales presentaron un comportamiento agronómico similar a los testigos, y en algunos casos fueron superiores a los cuatro mejores testigos. Donde el T1 que es el hibrido AN-452 de buen desempeño agronómico en la región del bajo mexicano, proveniente de la crusa de los dos probadores enano y tropical, dichos probadores fueron apareados con las líneas para dar origen a los híbridos experimentales.

Esto Indica que los genotipos experimentales, reflejan una buena combinación de sus progenitores, presentando buena adaptación en las localidades. Para Camargo *et al.* (2002) un genotipo es confiable cuando este presente alto potencial de rendimiento y sobre todo que cuente con una amplia adaptabilidad a través de los años y en ambientes diferentes, superando al testigo que es de buena adaptabilidad y con un buen comportamiento.



**Figura 4.2** Proyección de la figura 4.1 donde se aprecia los híbridos experimentales y testigos (T) más estables.

Gráficamente se aprecian que los genotipos de mejor estabilidad fueron el 83, 182 y 171 por estar cercanos al probador virtual. En este caso no se cumple con el principio establecido por (Helms, 1993) donde una relación estabilidad y rendimiento, determina que las genotipos más estables son las menos rendidores, y viceversa.

Ahora bien, considerando solo a los testigos (Figura 4.2) se observa que el T1 (AN-452) fue superado en cuanto a estabilidad por el T2, T3 y T6, siendo el T3 un híbrido experimental del IMM y el T2 como el T6 son híbridos comerciales provenientes de la empresa Monsanto.

## Análisis de línea x probador

Los híbridos experimentales fueron obtenidos de la cruce de 158 líneas con dos probadores (enano y tropical), por lo que fue necesario realizar un análisis de varianza (ANVA) de línea x probador para rendimiento de mazorca, con la finalidad de observar el comportamiento genético de ellos.

Para el efecto de líneas y probadores se detectaron diferencias significativas ( $P=0.01$ ) indicando que ambos tipos de materiales presentan características genéticas propias dadas por el origen genético diferente (Cuadro 4.2). Estadísticamente las mejores líneas fueron la 28, 124, 85, 6, 91, 120, 92 y 138 según la prueba de Tukey (Cuadro A3) siendo la primera la superior de todas.

**Cuadro 4.2** Análisis de varianza general de línea x probador de 158 líneas y dos probadores para la variable rendimiento de mazorca.

FV	GL	SC	CM
Localidades(L)	2	13,901.99	6,950.99 **
Bloques/L	3	408.90	136.30 **
Líneas	157	1,503.99	9.58 **
Probadores	1	89.78	89.78 **
Línea x probador	157	2,438.12	15.53 **
Línea x localidad	314	1,471.04	4.68 **
Probador x localidad	2	41.05	20.53 **
Línea x probador x localidad	314	1,826.66	5.82 **
EE.	940	3,346.87	3.56
C.V	18.62		
Media	10.13		

\*\*significativo al 0.01 de probabilidad respectivamente; fuentes de variación (F.V); grados de libertad (GL); suma de cuadrados (SC); cuadrados medios (CM); coeficiente de variación (CV).

La interacción de línea x probador presentó diferencia significativa ( $P=0.01$ ), debido a que los probadores pertenecen a grupos heteróticos opuestos, como también la probabilidad de ubicación de líneas a grupos heteróticos diferentes.

La interacción línea x localidad y probador por localidad manifestó significancia estadística ( $P=0.01$ ), debido al orden que guardan las líneas y los probadores en las localidades no son las mismas, es decir no mostraron capacidad de amortiguar los cambios ambientales.

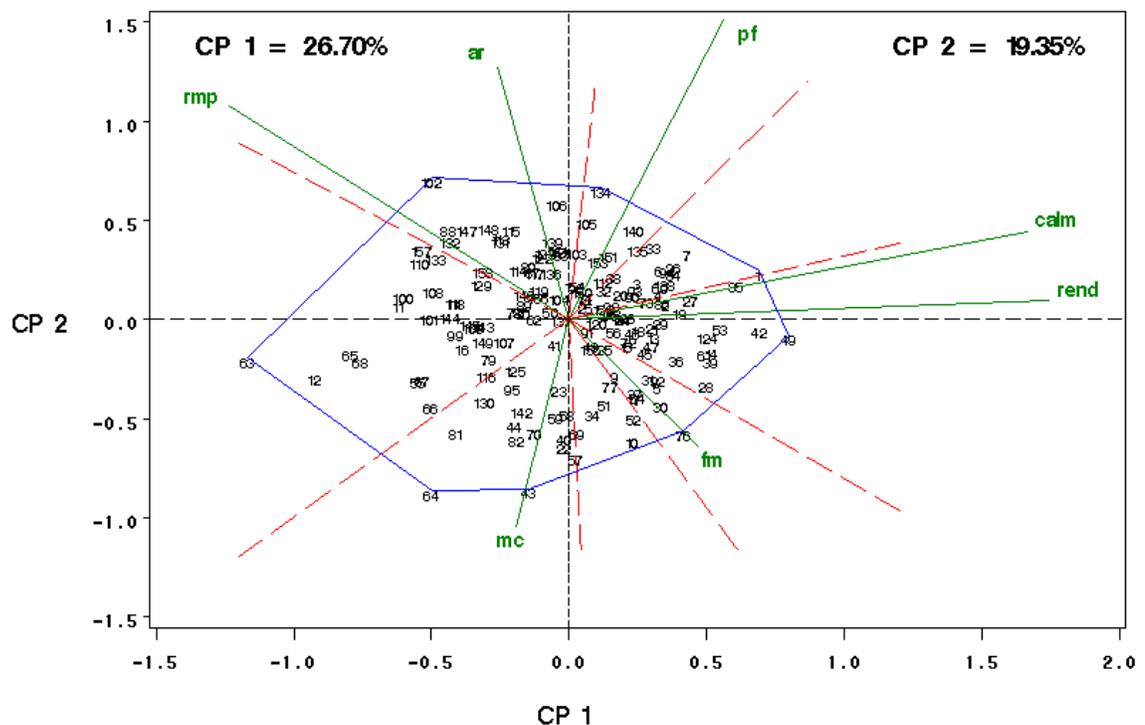
Finalmente la triple interacción de línea x probador x localidad resulto estadísticamente significativo ( $P=0.01$ ), siendo un indicador que las combinaciones de líneas con sus respectivos probadores no mantienen un orden relativo en las tres localidades.

Por lo anterior, es necesario estudiar las líneas a fondo con sus respectivos probadores (enano y tropical), por medio de gráficas biplot que genera el modelo SREG. Tomando como referencia el comportamiento que presenta dichas líneas de acuerdo a las variables de interés.

## Relación entre variables y selección de líneas mediante gráficos biplot del modelo SREG.

En la Figura 4.3 se observa las relaciones que presentaron dichas variables y las mejores líneas para cada una de ellas según el probador enano.

Donde REND y CALM presentaron relación por encontrarse en el mismo sector y su ángulo menor a  $90^{\circ}$ , siendo las líneas 49, 42, 53, 124, 39, 1, 85 y 27 las mejores en estas dos variables.



**Figura 4.3** Concentración de las 158 líneas con el probador enano y las siete variables de interés.

También las que mostraron asociación fueron RMP y AR, de tal manera que las mejores líneas presentes para estas variables son la 102, 88, 147, 108, 115 y 148.

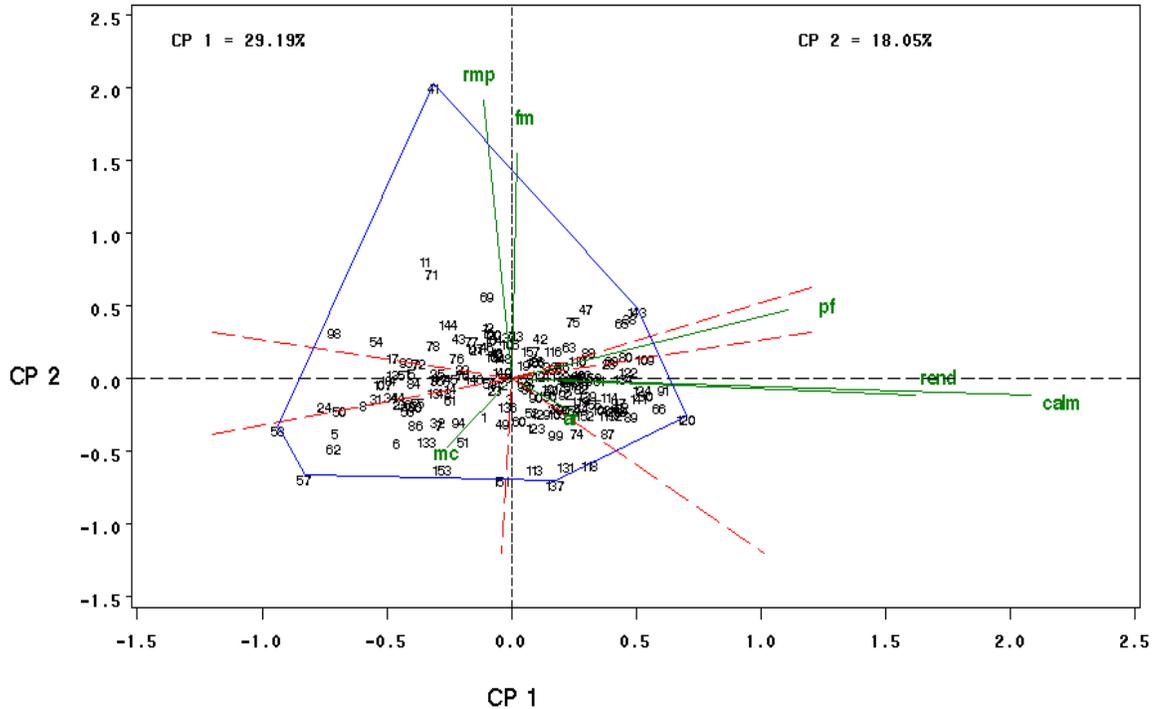
Las siguientes variables no presentaron relación alguna, sin embargo es importante resaltar las mejores líneas presentes para cada variable.

Las que mostraron antesis en menos días (FM) fueron la 76 y 30. Las mejores en no presentar mala cobertura (MC) son la 43, 64, 82 y 81. Mientras que la 134, 105 y 140 mostraron daños mínimos de *fusarium spp.* (PF).

No existe interacción cruzada para la variable REND, CALM y PF por presentar un ángulo menor de  $90^{\circ}$  entre ellas. Todo lo contrario se presentó para RMP, AR, MC en relación con las tres primeras variables, de tal manera que entre estas no se puede efectuar una selección confiable por exhibir un ángulo mayor a  $90^{\circ}$ .

En la Figura 4.4 se considero las líneas con el probador tropical. De tal manera que las variables que presentaron relación son REND, CALM y AR, donde las mejores líneas para estas variables fueron la 91, 124, 66, 120, 87, 122, 109, y 89. También las variables RMP y FM mostraron asociación, siendo las mejores líneas la 41, 11, 71, 69, 47, 75, 143 y 65 para estas variables.

La variable mala cobertura (MC) no presentó relación alguna, de tal manera que las mejores líneas para dicha variable fueron la 153, 151, 57, 58 y 62. Mientras que las líneas con daños mínimos de *fusarium ssp.* (PF) fue la 80 y 109.



**Figura 4.4** Concentración de las 158 líneas con el probador tropical y las siete variables de interés.

Las variables PF, CALM, REND y AR se mantuvieron entre un ángulo menor de  $90^{\circ}$  por tal motivo no exhibieron interacción cruzada, mientras que FM, MP y MC si existió relación cruzada con respecto a las cuatro primeras, de tal manera que no se puede efectuar una selección confiable por presentar ángulos mayores a  $90^{\circ}$ .

Por lo anterior es importante señalar las líneas que exhibieron un comportamiento similar en algunas variables al ser apareadas tanto con el probador enano y tropical, las cuales fueron la 124 para rendimiento (REND), mientras que para mala cobertura (MC) fue la 58 y 23.

Estos resultados inducen a averiguar a que agrupación heterótica pertenecen, para realizar cruzamientos entre mejores líneas de diferente grupo y lograr con éxito la formación de híbridos sobresalientes.

### **Ubicación de las líneas en grupos heteróticos para rendimiento**

Con la finalidad de obtener mayor seguridad en la formación de mejores híbridos es necesario identificar a que grupo heterótico pertenecen las líneas. Por lo que en este estudio se consideró los efectos genéticos de aptitud combinatoria específica (ACE), que presentaron 78 líneas de porte normal y 80 de porte enano al ser apareadas con dos probadores.

González *et al.* (1997) menciona que es posible clasificar las líneas en grupos heteróticos considerando a la ACE. Sí, las cruzas muestran efectos positivos, pertenecen al grupo heterótico opuesto; mientras que, aquellas con efectos negativos, pertenecen al mismo grupo.

Considerando lo anterior y observando los estimados de ACE de las líneas normales con ambos probadores (Cuadro 4.3) se aprecia que entre estos valores existe una diferencia en cuanto a signo (positivo y negativo). De tal manera, se logró ubicar 56 líneas al grupo tropical y 21 al enano. Cabe resaltar que la línea 25 (CML-312-1-5) no presentó diferencias en sus estimados, por lo tanto no pertenece a ningún grupo y como sus valores fueron bajos se establece que es inadecuada posible a descartar.

**Cuadro 4.3** Efectos de ACE de 156 cruzas provenientes del apareamiento de 78 líneas de porte normal con dos probadores contrastantes.

Línea	ACE P1		ACE P2		GPO HETCO.	Línea	ACE P1		ACE P2		GPO HETCO.	Línea	ACE P1		ACE P2		GPO HETCO.
1	2.067	**	-2.013	**	T	27	0.354		-0.300		T	53	1.369	*	-1.315	*	T
2	1.255	*	-1.201	*	T	28	0.344		-0.290		T	54	1.701	**	-1.648	**	T
3	0.358		-0.304		T	29	0.342		-0.289		T	55	0.307		-0.253		T
4	2.206	**	-2.152	**	T	30	-0.289		0.343		E	56	1.234	*	-1.181	*	T
5	2.159	**	-2.105	**	T	31	2.002	**	-1.949	**	T	57	0.448		-0.395		T
6	1.051	*	-0.997		T	32	0.653		-0.599		T	58	1.418	*	-1.364	*	T
7	2.077	**	-2.023	**	T	33	0.340		-0.286		T	59	-0.103		0.157		E
8	1.388	*	-1.334	*	T	34	0.525		-0.471		T	60	0.133		-0.079		T
9	-0.114		0.168		E	35	2.026	**	-1.972	**	T	61	1.397	*	-1.343	*	T
10	0.474		-0.420		T	36	1.215	*	-1.161	*	T	62	0.543		-0.489		T
11	-1.509	**	1.563	**	E	37	0.530		-0.476		T	63	-4.575	**	4.629	**	E
12	-1.916	**	1.970	**	E	38	-0.185		0.239		E	64	-1.898	**	1.952	**	E
13	1.375	*	-1.321	*	T	39	1.458	*	-1.405	*	T	65	-3.168	**	3.222	**	E
14	1.687	**	-1.633	**	T	40	-0.060		0.113		E	66	-2.411	**	2.465	**	E
15	1.304	*	-1.250	*	T	41	1.297	*	-1.244	*	T	67	-1.811	**	1.865	**	E
16	-0.231		0.285		E	42	1.785	**	-1.732	**	T	68	-2.748	**	2.802	**	E
17	0.347		-0.293		T	43	0.202		-0.148		T	69	-0.179		0.232		E
18	1.237	*	-1.184	*	T	44	-0.149		0.202		E	70	0.076		-0.023		T
19	1.142	*	-1.089	*	T	45	0.802		-0.748		T	71	-0.271		0.325		E
20	0.049		0.005		E	46	0.559		-0.505		T	72	0.663		-0.609		T
21	0.910		-0.856		T	47	0.625		-0.571		T	73	0.292		-0.238		T
22	0.984		-0.930		T	48	0.978		-0.924		T	74	-0.314		0.368		E
23	0.495		-0.442		T	49	2.239	**	-2.185	**	T	75	-0.465		0.519		E
24	0.940		-0.886		T	50	0.343		-0.395		T	76	1.240	*	-1.187	*	T
25	0.037		0.017			51	1.338	*	-1.285	*	T	77	0.325		-0.271		T
26	1.127	*	-1.073	*	T	52	-0.039		0.093		E	78	0.128		-0.074		T

\*y\*\* significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad; P1= probador enano; ACE= aptitud combinatoria específica; P2= probador tropical; E= enano y T= tropical.

**Cuadro 4.4** Efectos de ACE de 160 cruzas provenientes del apareamiento de 80 líneas de porte enana con dos probadores contrastantes.

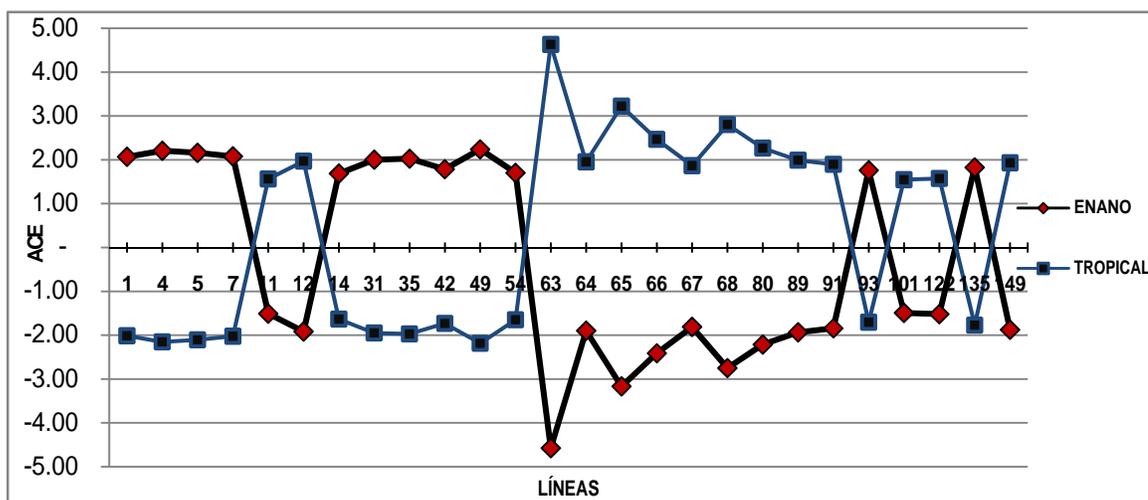
Línea	ACE P1		ACE P2	GPO HETCO	Línea	ACE P1		ACE P2	GPO HETCO	Línea	ACE P1		ACE P2	GPO HETCO			
79	-0.905		0.959	E	106	-0.319		0.373	E	133	-0.320		0.374	E			
80	-2.213	**	2.266	**	E	107	-0.498		0.552	E	134	-0.339		0.392	E		
81	-1.365	*	1.419	*	E	108	-1.369	*	1.423	*	E	135	1.825	**	-1.771	**	T
82	0.108		-0.054	T	109	-0.641		0.695	E	136	0.520		-0.466	T			
83	-0.391		0.445	E	110	-1.403	*	1.457	*	E	137	0.618		-0.564	T		
84	0.689		-0.810	T	111	-0.994		1.048	*	E	138	-0.080		0.134	E		
85	0.986		-0.932	T	112	0.301		-0.248	T	139	-0.459		0.513	E			
86	1.709	**	-1.339	*	T	113	-0.304		0.358	E	140	1.107	*	-1.054	*	T	
87	-1.185	*	1.239	*	E	114	-1.070	*	1.123	*	E	141	-0.353		0.407	E	
88	-1.040	*	1.094	*	E	115	-1.318	*	1.183	*	E	142	0.068		-0.014	T	
89	-1.935	**	1.989	**	E	116	-0.543		0.597	E	143	-1.253	*	1.307	*	E	
90	-0.271		0.324	E	117	-0.172		0.226	E	144	-0.508		0.561	E			
91	-1.842	**	1.895	**	E	118	-1.186	*	1.440	*	E	145	-0.270		0.324	E	
92	0.343		-0.289	T	119	-0.736		0.790	E	146	0.562		-0.508	T			
93	1.758	**	-1.705	**	T	120	-0.863		0.916	E	147	-0.208		0.262	E		
94	1.290	*	-1.236	*	T	121	-0.292		0.345	E	148	-0.139		0.193	E		
95	-0.839		0.893	E	122	-1.520	**	1.574	**	E	149	-1.876	**	1.930	**	E	
96	-0.832		0.885	E	123	-0.439		0.492	E	150	0.327		-0.273	T			
97	-1.230	*	1.284	*	E	124	-0.503		0.557	E	151	-0.228		0.282	E		
98	1.487	**	-1.433	*	T	125	-0.495		0.549	E	152	0.640		-0.586	T		
99	-0.814		0.868	E	126	-0.136		0.190	E	153	0.150		-0.096	T			
100	-0.968		1.021	E	127	-0.202		0.256	E	154	-0.009		0.063	E			
101	-1.492	**	1.546	**	E	128	0.261		-0.207	T	155	-0.657		0.711	E		
102	-1.016		1.070	*	E	129	-0.355		0.409	E	156	-0.079		0.132	E		
103	-0.750		0.804	E	130	-0.487		0.541	E	157	-0.809		0.863	E			
104	0.162		-0.108	T	131	-0.390		0.443	E	158	-0.896		0.950	E			
105	0.649		-0.595	T	132	-1.086	*	1.140	*	E							

\*y\*\* significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad; P1= probador enano; ACE= aptitud combinatoria específica; P2= probador tropical; E= enano y T= tropical.

Por otro lado, considerando la ACE de las 80 líneas enanas con ambos probadores (Cuadro 4.4), se observa que aún y cuando estas fueron derivadas de una población enana, tienden a pertenecer a grupos heteróticos diferentes. De tal manera que 59 de ellas pertenecen al grupo enano, mientras que 21 al tropical.

Por lo anterior, se optó por realizar una grafica donde se ubicaron las 26 mejores líneas que presentaron alta significancia ( $P=0.01$ ) al ser cruzadas con los dos probadores contrastantes (Figura 4.5).

Donde 14 líneas (11, 12, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 80, 89, 91, 101, 122 y 149) se designaron al grupo enano, al presentar efectos de ACE con valor positivo al ser cruzadas con el probador tropical siendo las ultimas seis tropicales. Las 12 líneas (1, 4, 5, 7, 14, 31, 35, 42, 49, 54, 93 y 135) restantes fueron ubicadas en el grupo tropical al presentar efectos de ACE con valor positivo al ser apareadas con el probador enano siendo enanas las primeras diez.



**Figura 4.5** Comportamiento de ACE de 26 líneas cruzadas con dos probadores.

Ramírez *et al.* (2004) señala que la formación de grupos heteróticos es indispensable para la simplificación en la formación de híbridos. Por lo tanto estos resultados inducen a la realización de futuras cruzas de las mejores líneas pertenecientes al grupo enano y tropical.

Esto demuestra que ambos probadores fueron confiables para la clasificación de dichas líneas, debido a que son altamente contrastantes. Tal como lo expresa Sahagún (2003) que un buen probador debe permitir la separación y agrupación de líneas a grupos heteróticos diferentes.

## V. CONCLUSIONES

De los 316 Híbridos triples evaluados, doce de ellos presentaron excelente comportamiento, siendo el 83, 182 y 171 los más estables, superando o al menos igualando a los testigos T1, T2, T3, y T6.

Al estudiar los progenitores de los híbridos triples evaluados, ocho líneas fueron las mejores estadísticamente, sobresaliendo la línea 28 con un mejor rendimiento de mazorca. Sin embargo, tomando como referencia el comportamiento que presentan las 158 líneas al interactuar con los dos probadores de acuerdo a las variables de interés resultó que la línea 124 fue estable para la variable (REND), mientras que la 58 y 23 fueron las mejores para la variable (MC).

Considerando los efectos genéticos en ACE que presentaron las 158 líneas al ser apareadas con los dos probadores contrastantes, se obtuvo que de las 78 líneas de porte normal, 56 se ubicaron en el grupo tropical y 21 en el grupo enano. Mientras que para las 80 líneas enanas, 59 pertenecieron al enano y 21 al tropical. La línea 25 (CML-312-1-5) no perteneció a ninguno.

## VI. RESUMEN

Para la facilitación de nuevos y mejores materiales es necesario contar con grupos heteróticos definidos. El objetivo de este trabajo de investigación fue clasificar líneas a través de su respuesta en ACE con dos probadores altamente contrastantes, identificar híbridos triples que cuenten con buen comportamiento y estabilidad en cuanto a rendimiento de mazorca. El material genético estuvo constituido por 158 líneas provenientes de poblaciones diferentes que pertenecen al Instituto Mexicano del Maíz de la Universidad Autónoma agraria Antonio Narro, las cuales fueron apareadas con dos probadores (enano y tropical) contrastantes, generando 316 cruzas triples que fueron comprobadas con siete testigos (tres comerciales pertenecientes a empresas privadas y cuatro materiales del IMM). La evaluación se llevo a cabo durante el ciclo primavera – verano del 2008 en el Prado Galeana, N.L; Celaya, Gto. y nuevamente en el prado Galeana, N.L en el 2009, bajo el diseño de bloques incompletos al azar con dos repeticiones por localidad. Considerando la variable rendimiento de mazorca se realizó un análisis combinado para 323 híbridos incluyendo testigos, un análisis de línea x probador y para corroborar los resultados estadísticamente se efectuó pruebas de Tukey. Para la explicación de la IGA se utilizó el modelo SREG auxiliándose a graficas Biplot GGE, este

mismo modelo se empleo para la interpretación de cada probador con las siete variables de interés y finalmente para la ubicación de las líneas fue en base a su valor en ACE. Los resultados mostraron diferencias estadísticas en la fuente de variación localidades, bloques, híbridos experimentales, debido a que no mantuvieron el mismo comportamiento, siendo todo lo contrario para testigos. En la grafica Biplot SREG se observó que 12 híbridos experimentales presentaron buen comportamiento, mientras que 3 de ellos se comportaron igual o superior a los cuatro mejores testigos en estabilidad. En el análisis de línea x probador, presentaron diferencias significativas en todas las fuentes de variación, indicando diferente comportamiento en la agrupación, siendo 8 líneas las mejores estadísticamente. Por medio de dos graficas Biplot se explico el comportamiento de los probadores al ser cruzadas con las líneas de acuerdo a las variables de interés, resultó que la línea 124 fue estable para la variable (REND), mientras que la 58 y 23 fueron las mejores para la variable (MC). En cuanto a la ubicación de líneas en grupos heteroticos se obtuvo que de las 78 líneas de porte normal, 56 se ubicaron en el grupo tropical y 21 en el grupo enano. Mientras que para las 80 líneas enanas, 59 pertenecieron al enano y 21 al tropical. La línea 25 (CML-312-1-5) no perteneció a ninguno.

## VII. LITERATURA CITADA

**Arrieta** Montiel, J. D. Molina Galán, L. M. Serrano C., J. A. Acosta Gallegos. 2002. Aptitud combinatoria y acción génica de características morfológicas y del rendimiento en frijol común. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 25, Número 001. Pág. 1 - 7.

**Aguiluz** Adán. 1998. Evaluación de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de grano blanco y amarillo en ambientes de Centroamérica, Panamá y el Caribe en 1996. Agronomía Mesoamericana. 9 (1): 28 - 37.

**Aulicino** M. B., F. Laos, M.J. Arturi, A. Suárez Orozco, C. Greco. 2000. Análisis de la interacción-genotipo ambiente para rendimiento forrajero en cebadilla criolla. Investigación Agrícola: Producción y Protección Vegetal. (España). 15 (3): 169 - 180.

**Betrán**, F. J., D. Beck., M. Banziger., G. Edmeades. 2003. Análisis genético de rendimiento de grano puras o híbridas en ambientes de estrés y sin estrés en maíz tropical. Revista Agrociencia 43 (3): 807- 817.

**Camargo** I., R. Gordon, M. Fuentes. 2003. Estabilidad y confiabilidad de los nuevos híbridos de maíz en comparación al testigo regional HB-83. Agronomía Mesoamericana. Vol. 14 (2): 129 - 134.

**Camargo** I., R. Gordon, J. franco, A. González, E. Quiros, A. Figueroa. 2002. Confiabilidad de nuevos híbridos de maíz, en panamá. Agronomía Mesoamericana. Vol. 13 Número 001. Pág.7 – 11.

**Cervantes** S T., M. A. Oropeza R., D. R. López. 2002. Selección para rendimiento y heterosis de líneas endogámicas de maíz irradiado. Agrociencia vol. 36. Núm. 4. Pág. 421 - 431.

**Córdova** H. S. 1991. Estimación de parámetros de estabilidad para determinar la respuesta de híbridos de maíz (*Zea mays L.*) a ambientes contrastantes de centro América, panamá y México. Agronomía Mesoamericana. Vol. 2. Pág. 01 – 10.

**De León** H., E. Ramírez, G. Martínez, A. Oyervides y A. De la Rosa. 1999. Evaluación de diversos patrones heteróticos en la formación de híbridos de maíz para el bajío mexicano. Agronomía Mesoamericana. 10(1): 31 - 35.

**Espinosa** A., M. Tadeo, H. Medina, J. R. Gutiérrez, M. Luna. 2001. Alternativas para favorecer la polinización y producción de semilla del híbrido H-311 de maíz. Agronomía Mesoamericana. Vol. 12. Número 2. Pág. 229 – 235.

**Félix** M. San Vicente G y María F. Malacarne. 2003. Patrones heteróticos de líneas blancas de maíz. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP).Revista Agronomía Tropical Venezuela 53(4):437 - 456.

**Fuentes M.**, J. L. Queme, Carlos Pérez. 1993. Efectos de aptitud combinatoria general en la identificación de híbridos triples de maíz (*Zea mays L*) grano blanco. *Agronomía Mesoamericana*. 4: 71 - 76.

**Fuentes M. R. L.**, C. Pérez R., J. L. Zea. 2002. Avance en el desarrollo de híbrido de maíz (*Zea mays L*) a partir de patrón heterótico del ICTA HB - 83 adaptado a condiciones del trópico bajo de Guatemala. Proyecto Agrocyt 01-2002. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA).

**Gordón Mendoza R.**, L. Camargo Buitrago, J. F. Barrera A. González S. 2006. Evaluación de la adaptabilidad de 14 híbridos de maíz, Azuero, Panamá. *Agronomía Mesoamericana*. 17(2):189 - 199.

**Gómez.** 2008. Híbridos de maíz de alto rendimiento para el trópico húmedo y seco de México. *Agricultura Técnica en México*. INIFAP. Texcoco México. Vol. 34 Número 001. Pág. 101 - 105.

**González S.**, H. Córdova, S. Rodríguez, H. de León, V. M. Serrato. 1997. Determinación de un patrón heterótico a partir de la evaluación de un dialelo de diez líneas de maíz subtropical. *Agronomía Mesoamericana* 8 (1): 01 - 07.

**Guerra F.**, M. Fuentes, Oscar Cruz, A. Espinoza, Leopoldo Pixley, I. Camargo, S. Castellanos. 2003. Evaluación de híbridos experimentales de maíz PRM en Centroamérica. *Agronomía Mesoamericana*. Vol. 14. Número 001. Pág. 21 – 25.

**Hallauer A. R.** and Miranda. 1988. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Iowa State University Press/Ames. Pág. 159 - 294.

**Helms** T.C. 1993. Selection for yield and stability among oat lines. Crop Sci. 33: 423 - 426.

**López** María E. 2009. Evaluación de la eficiencia del mejoramiento de líneas de maíz y su ubicación en grupos heteróticos. Tesis de Maestro en Ciencias en Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Satillo, Coahuila, México.

**López** Miguel. 1995. Las industrias de semilla de maíz de centro América y México: relaciones entre los sectores público y privado. Agronomía Mesoamericana. 6: 157 - 168.

**Lobato** Ortiz R., J. D. Molina Galán, J. J. López Reynoso, J. A. Mejía C., D. Reyes López. 2009. Criterios para elegir el mejor probador de la aptitud combinatoria general para rendimiento de grano de líneas autofecundadas de maíz. Revista Agrociencia. 44 (1): 17 - 30.

**Márquez** Sánchez F. 2009. De las variedades criollas de maíz a los híbridos transgénicos. II: La hibridación. Agricultura, sociedad y desarrollo.vol 6. Núm. 2. Pág. 8 – 24.

**Márquez** Sánchez F., L. Sahagún Castellanos, E. Barrera Gutiérrez. 2009. Nuevo método de mejoramiento genético para resistencia a sequia en maíz. Revista de Geografía Agrícola. Núm. 42. Pág. 9 - 14.

**Mendoza** M., A. Oyervides, López A. 2000. Nuevos cultivares de maíz con potencial agronómico para el trópico húmedo. *Agronomía Mesoamericana*. Vol. 11. Numero 1. Pág. 83 – 88.

**Moreno** P. E., David L. Beck, T. C. Santana, J. L, Torres Flores. 2004. Selección recíproca recurrente en poblaciones de maíz de valles altos en suelos con alto y bajo contenido de nitrógeno en México. *Revista Agrotecnia* vol. 38 núm. 3. Pág. 305 - 311.

**Navarro** G. E. y F. Borrego E. 1993. Efectos génicos y Heterosis en poblaciones parentales y poblaciones derivadas de maíz (*Zea mays L*). *Agronomía Mesoamericana*. 4: 7 - 10.

**Nestares** G, E. Frutos y G. Eyherabide. 1999. Evaluación de líneas de maíz Flint colorado por aptitud combinatoria. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasilia. Vol. 34. Número 8. Pág. 1399 - 1406.

**Peña** D. Alberto Z. 2008. Identificación de germoplasma con atributos para desarrollar híbridos de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias en Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

**Peña** Ramos A., González C. F., Núñez H. G., Jiménez G. C. 2004. Aptitud combinatoria de líneas de maíz para alta producción y calidad forrajera. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 27. Número 1. Pág. 1 - 6.

**Preciado** O. R. E., Arturo D. Terrón I., N. O. Gómez Montiel y E. I. Robledo González. 2005. Componentes genéticos en poblaciones heteróticamente

contrastantes de maíz de origen tropical y subtropical. *Agronomía Mesoamericana*. Universidad de Costa Rica. Número 002. Vol. 16. pp. 145 - 151.

**Ramírez** J. L., José Ron, J. Sánchez, Abraham C., José Maya. 1998. Aptitud combinatoria general y correlaciones fenotípicas entre líneas y mestizos de maíz. *Agronomía Mesoamericana*. 9(2): 67-76.

**Ramírez** D. J. I., M. C. Bonaparte, V. A. Vidal Martínez, J. R. Parra y F. C. Hernández. 2007. Propuesta para formar híbridos de maíz combinado patrones heteróticos. *Revista fitotecnia Mexicana*. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo México vol. 30. Número 004. pp.453 - 461.

**Ramírez** D. J. L., M. C. Bonaparte, L. S. Díaz, J. F. Moreno, A. M. Valencia, V. A. V. Martínez, H. I. V. Delgado, F. C. Hernández, H. D. Martínez, R. V. Bernal, J. Ron Parra. 2004. Patrón heterótico de maíz amarillo para la región centro-occidente de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 27. Número 1. Pág. 13 - 17.

**Rawlings**, J. L. Thompson. 1962. Nivel de rendimiento como criterio para la elección de probadores en maíz. *Revista Agrociencia*. 2: 217 - 220.

**Rodríguez**. P. E., J. Sahagún C., H. Villaseñor M., J. D. Molina Galán, A. M. Garza. 2002. Estabilidad de siete variedades de de trigo (*triticum aestivum* L.) de temporal. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol.25. Número 2. pág. 143 - 151.

**Rosas** Sotomayor J. C., O. Gallardo Guzmán, J. Jiménez Torres. 2006. Mejoramiento de maíces criollos de Honduras mediante la aplicación de metodologías de fitomejoramiento participativo. *Agronomía Mesoamericana*. Vol. 17. Número 3. Pág. 383 - 392.

**Sánchez** D. S., A. Muñoz Orozco, V. A. González H. y A. Martínez Garza. 2006. Caracterización y clasificación de germoplasma mexicano de cacahuate (*arachis Hipogaea L.*). *Revista Agrociencia*. Vol. 40. Pág. 171 - 182.

**Sahagún** Castellanos J. 2003. Avance genético esperado para aptitud combinatoria modelo con alelos múltiples y probadores homocigóticos. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 26. Número 2. Pág. 123 - 130.

**Sierra** M. M., F. Márquez S., R. Valdivia B., H. Córdova O., R. L. Gutiérrez, A. P. R. 2004. Uso de probadores en la selección de líneas para formar híbridos de maíz. *Agricultura Técnica en México*. Vol. 30. Número 2. Pág. 169 - 181.

**Sierra** M., F. Márquez, R. Valdivia, O. Cano, F. A. Rodríguez. 2000. Aptitud combinatoria general y específica de líneas tropicales de maíz usando probadores. *Agronomía Mesoamericana*. Vol. 11. Número 1. Pág. 103 - 112.

**Singh** R K, B D Chaudhary 1985. *Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis*. Revised Edition. Kalyani Publishers. Ludhiana, New Delhi. 318 p.

**Srinivasan**, S. K. Vasal, F. G. Ceniceros, H. Córdova, S. Pandey, N. Vergara. 1993. Rendimiento y estabilidad de híbridos de maíz de cruces simples

evaluadas en Colombia, México y Centro América. *Agronomía Mesoamericana*. 4:23 - 29.

**Soto** L. y M. R. Fuentes. 1990. Estimación de aptitud combinatoria de líneas endogámicas y predicción de híbridos de maíz de alta calidad de proteína. *Agronomía Mesoamericana*. 1: 31 - 34.

**Surinder** Kumar Vasal, F. González C., Narciso Vergara, G. Srinivasan. 1993. Comportamiento de híbridos intra e inter poblacionales entre líneas endocriadas e implicaciones de de estos resultados en el desarrollo de híbridos de maíz. *Agronomía Mesoamericana*. 4: 01 - 06.

**Terrón** A., Preciado E., Córdova H., Mickelson H., López R. 1997. Determinación del patrón heterótico de 30 líneas de maíz derivadas de la población 43SR del CIMMYT. *Agronomía Mesoamericana*. Vol. 8. Número 1. Pág. 26 - 34.

**Vasal** S. K., Vergara N. y Mc Leans, S. 1994. Estrategia en el desarrollo de híbridos tropicales de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 5: 184 - 189.

**Vasal**, S. K., Han G., Elías E. y Vergara N. 1990. Desarrollo de híbridos no convencionales de maíz. XIII Reunión de Maiceros de la Zona Andina, Chiclayo, Perú. *Revista Agronomía Mesoamericana*. Vol. 9. Número 2. Pág. 377 - 389.

**Vergara** N., S. Pandey, Surinder K., Scott D. McLean y S. Rodríguez. 1998. Comportamiento de híbridos de maíz y aptitud combinatoria de líneas con características contrastantes. *Agronomía Mesoamericana* 9 (2): 97 - 104.

**Vergara** A. N., S. A. Rodríguez H. y H. S. Córdova O. 2005. Aptitud combinatoria general y específica de líneas de maíz (*Zea Mays* L.) tropical y subtropical. *Agronomía Mesoamericana*. 16 (2): 137 - 143.

**Vega** M. C., E. Navarro, J. Espinoza, Gustavo A. Burciaga y J. L. Guerrero. 1998. Selección temprana de líneas S1 de maíz ricas en lisina: I probador. *Agronomía Mesoamericana*. 9 (2): 65 - 68.

**Yan**, W., Hunt L. A., Sheng Q., Szlavnic Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science* 40 (3): 597- 605.

**Yan**, W., Hunt L. A. 2002. Biplot analysis of diallel data. *Crop Science* 42: 21-30.

**Xia** X., J. Rief, D. Hoisington, A. Melchinger, M. Frisch, M. Warburton. 2004. La diversidad genética entre líneas endogámicas de maíz del CIMMYT investigado con marcadores de SSR: 1, maíz de tierras bajas tropicales. *Agrociencia* 44: 2230 - 2237.

**Zobel** R. W., Wright M. J, Gauch H. Jr. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.* 80:388 - 393.

## VIII. APÉNDICE

**Cuadro A1. Resultados de la comparación de medias de rendimiento de las localidades a través de una prueba de Tukey.**

Localidades	Media de rend	
El Prado 2008	13.98	a
El Prado 2009	8.64	b
Celaya 2008	7.84	c

**Cuadro A2. Grupos estadísticos de los mejores híbridos superiores respecto a la variable rendimiento por medio de una prueba de Tukey.**

Hibrido	Rend	
97	13.717	a
55	13.669	a b
182	13.325	a b c
83	13.263	a b c d
171	13.234	a b c d
69	13.182	a b c d e
169	13.003	c d e f
11	12.988	c d e f
13	12.846	c d e f
7	12.749	c d e f g
77	12.735	c d e f g h
1	12.695	d e f g h
25	12.654	d e f g h
56	12.614	e f g h
T2	12.140	h

Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (Tukey al 0.05 de probabilidad).

**Cuadro A3. Resultados de la comparación de medias para la variable rendimiento de las mejores líneas estadísticamente superior por medio de una prueba de Tukey.**

Línea	Rend	
28	13.14	a
124	12.16	b
85	11.83	b c
6	11.75	b c d
91	11.67	b c d e
120	11.63	b c d e f
92	11.56	b c d e f h
138	11.54	b c d e f h
126	11.31	c d e f h
114	11.29	c d e f h
49	11.29	c d e f h
42	11.29	c d e f h
26	11.27	c d e f h
127	11.22	c d e f h
84	11.22	c d e f h
3	11.15	d e f h
13	11.10	e f h
39	11.09	e f h
38	11.09	e f h
33	11.06	e f h
29	11.05	e f h
47	11.04	f h
103	11.03	f h
15	11.00	h

Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (Tukey al 0.05 de probabilidad).

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.