

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Progenitores e Híbridos Superiores de Maíz, Identificados Mediante el Diseño  
Línea por Probador e Índices de Selección

Por:

**GREGORIO ANTONIO RAMÍREZ CEH**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México

Abril, 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Progenitores e Híbridos Superiores de Maíz, Identificados Mediante el Diseño  
Línea por Probador e Índice de Selección

Por:

**GREGORIO ANTONIO RAMÍREZ CEH**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada

  
Dr. Humberto De León Castillo

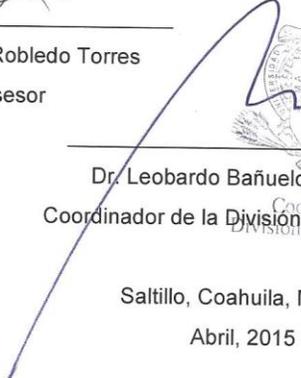
Asesor Principal

  
Dr. Valentín Robledo Torres

Coasesor

  
Ing. Raúl Gándara Huitrón

Coasesor

  
Dr. Leobardo Bañuelos Herrera  
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Abril, 2015

*La agricultura es la madre fecunda que  
proporciona todas las primeras materias que  
dan movimiento a las artes y al comercio  
Belgrano.*

## **Agradecimientos**

*A Dios. Por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad*

*A mi hermosa Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” la cual llevo en el corazón siempre, que me dio todo y abrió sus puertas del conocimiento para mí. A mi maravilloso Departamento de Fitomejoramiento de muchos que como yo eligieron esta extraordinaria carrera y que con mucho orgullo, amor, pasión y respeto representaré.*

*Al Dr. Humberto De León Castillo. Por brindarme la oportunidad en este interesante trabajo de investigación, por las enseñanzas que dentro y fuera del aula transmite de manera sencilla y desinteresada, Al que más que un maestro ha sido un amigo. Gracias.*

*Al Dr. Valentín Robledo Torres. Por su disposición y colaboración en formar parte del comité de asesoría, por sus valiosas aportaciones al realizar la revisión y corrección de la presente tesis.*

*Al Ing. Raúl Gándara Huitrón. Por la disponibilidad, colaboración y aportación de esta tesis, además de fungir como jurado calificador y por las aportaciones realizadas en esta tesis, además de su amistad que me ofreció durante mi estancia en la universidad.*

*Al M.C. Cirilo Cahuare Ramos. Por la confianza y apoyo que me brindo desinteresadamente, gracias por la disposición de revisar y corregir este trabajo, además de ser un gran amigo.*

*Al Dr. Santos González Ledesma. Por su valiosa amistad, consejos y enseñanzas que me brindo durante mi estancia en su programa de mejoramiento.*

*A mis compañeros y amigos que mejor no pude tener dentro de la universidad; Hernández, Ícela. Jáuregui, María. Jiménez, Sara. Robles, Verónica. Rojas, Dulce. Ruíz, Leticia. Cadenas, Jorge. Constantino, Alonso. (Chispita). Chí, Eduardo. (Palillo) González, Gerardo. Guevara, Enrique. Gutiérrez, Jaime. Hernández, Eduardo. (Pancho) Hernández, Andrés. (Chiquilla). Hernández, Adolfo. (Bofo). Hernández, Jesús. (Chuster). Jacobo, Teodoro. (Ebriodoro). Martínez, Eduardo. (Choco). Melgar, Eleuterio. (Mani). Minchez, Riquelmen. Morales, Oscar. (Gachupin). Nieblas, Ismael. (Mochis). Noh, Sergio. (Cabra), Ponciano, Francisco. Ramírez, Gerardo. (Sabrina). Roblero, Emir. (Chino). Rodríguez, Rodolfo. (Carnal). Sánchez, Luis. Santizo, Elver. Treviño, Manuel. Vela, Antonio. (Coreano). Que de una u otra manera me brindaron su apoyo, Sinceramente Gracias.*

*A todos y a cada una de las personas que me apoyaron de una manera desinteresada en los momentos difíciles durante la estancia en la universidad y los que colaboraron para realización de esta tesis y los maestros que de una u otra manera contribuyeron en mi formación.*

## ***Dedicatorias***

***A mis señores Padres.***

***Arcadio Ramírez Cámara.***

***Ma. Guadalupe Ceh Canúl.***

*Por ser lo más importante que tengo en la vida, pero en forma especial por darme la vida y todo el amor, cariño, sacrificio, esfuerzo, confianza y apoyo que me han brindado siempre, por sus consejos, valores, principios y el ánimo de seguir adelante, a quienes siempre lo que he logrado. Gracias por la mejor de las herencias... La educación.*

***A mis Hermanas.***

***Diana, Jessica, Griselda, Danya.***

*Por haberme brindado su confianza, comprensión y por todo su apoyo que me han brindado en los momentos difíciles y prósperos que hemos compartidos juntos. A quienes recordaré y quienes han sido la parte importante en la inspiración de seguir adelante y triunfar, a quienes les deseo lo mejor de la vida y que sigamos siempre adelante.*

*A toda mi familia que sin su apoyo no hubiese estado aquí en especial a mis tíos Isabel Ceh Canul, Ofelio Ceh Canul, Rosa Ramírez Cámara, gracias por todo y por creer en mí.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

---

	Página
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
OBJETIVOS .....	4
HIPÓTESIS .....	5
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	6
Híbridos. ....	6
Índices de selección (IS) .....	7
Aptitud combinatoria (AC) .....	9
Probadores.....	11
Análisis línea x probador (LXP) .....	13
Modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) .....	14
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	16
Formación de cruzas de prueba.....	17
Descripción de la localidad de evaluación.....	17
Descripción de la parcela experimental.....	18
Labores culturales .....	18
Variables agronómicas evaluadas.....	19
Análisis estadístico .....	22
Análisis línea por probador.....	22
Porcentaje de contribución de las diferentes fuentes de variación del modelo.....	24
Índice de selección (IS) .....	24
Exploración del comportamiento de los probadores considerando el rendimiento de los híbridos. ....	27

Criterios de selección .....	28
<b>IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>30</b>
Porcentaje de contribución de las fuentes de variación para cada una de las variables. ....	34
Exploración de la ubicación de los probadores, en grupos heteróticos considerando el rendimiento de los híbridos .....	40
Selección de líneas a partir de su aptitud combinatoria general (ACG). ..	42
Selección de probadores para emplearse como progenitores de híbridos o como discriminadores de líneas, en atención a sus estimados de ACG ..	45
Selección de híbridos atendiendo el valor al mérito del índice de selección. .....	46
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>53</b>
<b>VI. RESUMEN .....</b>	<b>54</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>56</b>

## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

---

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
3.1.	Clave de las líneas por su origen en el vivero de El Prado NL 2009 .....	16
3.2.	Genealogía de los probadores.....	17
4.1.	Cuadrados medios del análisis de varianza de 66 híbridos formados a partir de 22 líneas con 3 probadores evaluados en el estado de Guanajuato. ....	33
4.2.	Aportación de los componentes del modelo estadístico a la varianza total, expresado en porcentaje. ....	35
4.3.	Aptitud combinatoria general de líneas con base a rendimiento dentro de los probadores, grupos formados y el total de probadores. ....	44
4.4.	Aptitud combinatoria general de probadores para cada una de las variables estudiadas.....	46
4.5.	Cuadrados medios del análisis de varianza aplicado a la variable de respuesta índice de selección de 66 híbridos evaluados en el Edo de Guanajuato .....	47
4.6.	Híbridos de alto valor al mérito atendiendo los estimados del IS y su respectiva agrupación estadística. ....	48
<b>Figura</b>		
4. 1 A.	Biplot AMMI, Patrones de respuesta de los probadores y líneas con atención a la variable rendimiento.. ....	40

## I. INTRODUCCIÓN

El maíz, es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conoce. Es uno de los productos de consumo más cotizado y necesario tanto, para el hombre como para la industria, animales y alimento, debido al desarrollo de nuevas tecnologías de innovación, en la actualidad tiene una importante demanda para la elaboración de bio combustibles, lo que ha modificado el destino final de la producción de este cereal y ha causado una serie de problemas como es el bajo abastecimiento para la producción de alimentos balanceados y otros subproductos derivados de este.

En México es la especie más importante cultivada esto se debe al impacto social que tiene, así como por su superficie sembrada. En el 2013 se sembraron 7.5 millones de hectáreas de maíz para grano, de las cuales se cosecharon 7.1 millones de hectáreas, obteniendo un promedio de 3.2 toneladas por hectárea, y una producción total de 23.04 millones de toneladas (SIAP-SAGARPA, 2014). A pesar de esto México no es autosuficiente en su producción.

La posibilidad de incrementar la producción de este grano básicamente se centra en el uso eficiente de los recursos disponibles, genotipos mejorados, genotipos tolerantes a plagas y enfermedades, adaptables a las distintas

condiciones, zonas de producción y manejo del cultivo, esto debido a que la superficie sembrada es casi imposible de incrementar debido al crecimiento de la mancha urbana.

Actualmente el enfoque principal para incrementar el rendimiento se centra en la producción de híbridos simples mediante la generación de líneas endogámicas, expresan al máximo la heterosis así mismo aprovecharla para incrementar la producción, para compensar el diferencial de precios entre el maíz producido en México y el importado.

Las empresas semilleras deben ofrecer productos que estén más disponibles y más accesibles a partir del desarrollo de atributos y servicios innovadores que no forman parte de la oferta actual, la gestión de los costos de producción para brindar precios más bajos y la ampliación de los canales de distribución para llegar a los productores en todo el país (Donnet *et al.*, 2012).

Los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), son de gran utilidad para expresar el comportamiento promedio de una línea en sus combinaciones híbridas, también ayudan a establecer las combinaciones híbridas que mejor o peor resultan en relación con el promedio de la ACG de las dos líneas progenitoras.

El modelo línea por probador, permite la identificación de los probadores que mejor discriminen a las líneas así como el probador que se puede usar

como progenitor de híbridos, además permite identificar híbridos superiores de cada grupo heterótico.

Para realizar una selección más eficiente en la estrategia línea por probador no solamente se debe seleccionar en base de la aptitud combinatoria, se sugiere emplear herramientas descriptivas como lo es el grafico Biplot generado por el modelo AMMI, donde se pueden observar las diferencias entre probadores y líneas; clasifica si los probadores pertenecen o no a un mismo grupo heterótico; también permite observar las mejores respuestas en la interacción línea por probador. El modelo de los efectos aditivos principales e interacciones multiplicativas (AMMI) es uno de los más eficientes en determinar los genotipos más estables y de mayor rendimiento en ensayos multi-ambientales comparados con procedimientos más antiguos como el método de la regresión.

En este trabajo 22 líneas del Instituto Mexicano del Maíz (IMM) se cruzaron con 3 probadores, con la finalidad de generar nuevos híbridos con un mejor comportamiento agronómico. Las cruza de prueba generadas con las líneas y los probadores (66 híbridos experimentales), se evaluaron para lograr los siguientes:

## OBJETIVOS

- I. Identificar líneas superiores por su comportamiento genético a través de su aptitud combinatoria general (ACG).
- II. Identificar el probador que tenga mayor capacidad de discriminación de líneas, así como identificar aquel probador que pueda ser utilizado como progenitor de híbridos, tomando en cuenta sus efectos de ACG, siempre y cuando sean positivos para las variables de interés.
- III. Identificar por lo menos un híbrido sobresaliente con base en los valores de un índice de selección construido con las variables, *Fusarium*, Humedad, Rendimiento y Calificación de planta.

## HIPÓTESIS

- I. Debido a que las líneas tienen un origen específico presentarán atributos genéticos (efectos de ACG) diferentes, siendo algunas superiores a otras en atención a las variables medidas.
  
- II. Los probadores que se encuentran involucrados, presentaran diferente poder de discriminación en atención a cada una de las variables evaluadas.
  
- III. Existirá diferencia entre los híbridos experimentales de acuerdo al valor de sus índices de selección, y por lo menos uno de ellos será superior a los demás.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### Híbridos

Actualmente los productores siembran híbridos simples y trilineales de maíz, que cultivados con dosis adecuadas de fertilizantes y aplicación de agroquímicos para el control de plagas y maleza, les permite obtener altos rendimientos y afrontar problemas de rentabilidad del cultivo. Sin embargo, el uso de híbridos causa dependencia tecnológica y la pérdida gradual de la cultura de trabajo por parte del agricultor, ya que la participación de éste en el desarrollo, evaluación y adopción de tecnologías adecuadas a su sistema de producción es limitada (Valdivia *et al.*, 2007).

Las estrategias en un programa de generación de híbridos deben estar orientadas a lograr objetivos a corto plazo. Las fuentes de germoplasma que se utilicen son muy importantes debido a que necesitan poseer características agronómicas deseables, principalmente a la tolerancia a la endogamia, buena habilidad combinatoria, alto comportamiento en cruzamiento con otras poblaciones (Vasal *et al.*, 1994).

Un híbrido simple será de alto rendimiento si sus dos líneas progenitoras son de alta ACG o si su efecto de ACE es alto o sí por lo menos una de sus líneas es de alta ACG. El máximo rendimiento de una cruce ocurre cuando sus dos líneas son de alta ACG y su efecto de ACE es alto, en contraste si las líneas son de baja ACG y su efecto de ACE también es bajo, el rendimiento de la cruce será igualmente bajo (Reyes *et al.*, 2004).

Los híbridos triples representan una alternativa de aprovechamiento de la heterosis con las ventajas adicionales en la producción de semilla al usar como progenitor hembra una cruce simple de alto rendimiento (Sierra *et al.*, 2005).

La combinación y complementación entre patrones heteróticos exóticos y adaptados puede permitir ampliar la diversidad del germoplasma por lo que haría posible formar diferentes tipos de híbridos, en comparación con la selección recíproca recurrente y el método tradicional de retrocruzas, donde solo se formarían cruces recobradas similares a la original (Ramírez *et al.*, 2007).

### **Índices de selección (IS)**

Un índice, es esencial para la correcta selección de varios caracteres y su uso debe atender el comportamiento visto en tres niveles: tenemos en primer lugar, no todos los caracteres que se consideran al momento de construir el

índice de selección agregado son de igual importancia económica, segundo no todos los caracteres tienen la misma heredabilidad, tercero pueden existir relaciones fenotípicas y genéticas entre los caracteres teniendo como resultado que al otorgarle mucha importancia a un carácter afectaría el cambio en otro, teniendo que considerar aquellas relaciones (Romero, 2000).

Cuando se implementa un índice de selección se busca producir el mayor impacto posible en el genotipo, por lo cual es conveniente referir el concepto de respuesta directa que es el progreso obtenido en una característica producto de la selección por ella misma. También es necesario definir la respuesta correlacionada que es el progreso que se observa en una o varias características cuando se hace selección para otra característica (Yáñez, 2005).

La selección de genotipos basada en la evaluación simultánea de dos o más características, se ha hecho con la técnica de índices de selección desarrollada por Smith, sin embargo sus requerimientos incluyen estimaciones de las varianzas y covarianzas de los valores genotípicos y la asignación, frecuentemente subjetiva, de los pesos económicos, de los valores genotípicos, y de los caracteres involucrados en la selección (Cerón y Sahagún, 2005).

El centro de investigación para el mejoramiento de maíz y trigo (CIMMYT), ha elaborado un programa el cual calcula un índice de selección en el que el programa estandariza los datos de las características incluidos en la selección,

por lo que solamente permite calcular el índice como una sola medida de la tolerancia del genotipo que se está evaluando (Bänzinger *et al.*, 2012).

En la selección de familias es importante considerar los factores que afectan la variabilidad existente, no sólo entre familias sino que de igual manera dentro de cada una de estas. La eficiencia de la selección tiende a disminuir en la medida en que los índices contienen más caracteres, algunos de ellos que incluyen solo dos caracteres muestran eficiencias que se pueden comparar con los mejores índices (Vieira y Milligan, 2009).

La superioridad de los índices de selección sobre otros métodos de selección y de un índice sobre otro, depende principalmente de las estimaciones precisas de varianzas y covarianzas genotípicas y fenotípicas, valores económicos relativos o ganancias deseadas especificadas para diferentes rasgos (Asghar y Medhi, 2010).

### **Aptitud Combinatoria (AC)**

El mejoramiento genético de plantas actualmente obliga a conocer el componente genético de los materiales usados como progenitores en un programa de hibridación. Mediante el conocimiento de la aptitud combinatoria el mejorador logra una mayor eficiencia en su programa de mejora genética, ya

que le permite seleccionar líneas con un buen comportamiento promedio e identificar combinaciones híbridas superiores (Gutiérrez *et al.*, 2004).

El análisis de la estrategia de mejoramiento línea por probador, permite identificar adecuadamente los progenitores con capacidad de transmitir sus caracteres deseables a la descendencia, y la exploración de la aptitud combinatoria específica permite conocer genotipos sobresalientes originados de cruzamientos entre variedades, línea o líneas por variedades. De igual manera este análisis ayuda a conocer información sobre el tipo de acción génica que condiciona la expresión de un carácter. Permitiendo elegir un método de mejoramiento indicado a seguir (Camacho *et al.*, 2006).

El diseño II de Carolina del Norte se aplica para formar las cruzas posibles entre líneas segregantes, las cruzas se evalúan en ensayos uniformes a través de ambientes y se estiman los efectos genéticos de aptitud combinatoria general, en las líneas de cada grupo y la aptitud combinatoria específica de las cruzas. Las líneas con mayor ACG se utilizan como probadores para formar cruzas simples y las cruzas simples sobresalientes por su ACE se utilizan como híbridos comerciales o como probadores para formar híbridos trilineales y dobles con otras líneas (Ramírez *et al.*, 2007).

Cuando en un experimento dialélico se estudian variedades de polinización libre, con un valor alto de ACG en alguna variedad indica una mayor frecuencia de genes que incrementan la expresión del carácter bajo estudio, además de

una mayor desviación en términos de frecuencias génicas con respecto a la media de las poblaciones involucradas en el dialélico (Ferreira *et al.*, 2004).

## **Probadores**

Para entender la función de un probador se deberá partir del principio de que se está usando para cuantificar la ACG de las líneas, por lo tanto no para que sea seleccionado. Las líneas son las que sufrirán la acción de la selección, por lo tanto entre los mestizos habrá una gran fuente de variabilidad, a la cual sea posible la discriminación entre ellas para separar las superiores del resto (Márquez, 1988).

En los programas de mejoramiento genético en maíz es esencial la selección y clasificación de los probadores por sus habilidades de combinación tanto general como específica de las líneas para obtener híbridos con alto rendimiento esto para la explotación del mercado de semillas (Deitos *et al.*, 2006).

A medida que un programa de investigación en híbridos evoluciona, debe identificarse líneas probadoras apropiadas que puedan utilizarse para evaluar líneas recientemente desarrolladas. Un probador deseable permite distinguir los genotipos que poseen buena aptitud combinatoria y otras características deseables, al mismo tiempo que indica híbridos útiles que se pueden utilizar

directamente. La identificación y la utilización de líneas probadoras servirán como un punto en común en la extrapolación de resultados de habilidad combinatoria entre diferentes mejoradores (Vasal *et al.*, 1997).

Al momento de seleccionar los probadores adecuados que se utilizaran en el programa de mejoramiento, es necesario tomar en cuenta varios aspectos teóricos y prácticos como son; I: La amplitud de la base genética del probador, II: éste debe ser de alto rendimiento, III: si debe poseer una alta o baja frecuencia de las características deseadas, IV: si debe tener buena o mala ACG, V: cuantos probadores se utilizarán en el programa de mejoramiento, VI: cuántos grupos heteróticos se manejan, VII: si los probadores deben estar emparentados o no (Bänzinger *et al.*, 2000).

Según Lobato *et al.*, (2010) Para determinar el mejor probador se deben considerar los siguientes criterios: I: el mejor probador presentará la mayor variación entre sus mestizos II: será el que logre ubicar a las líneas de conocida ACG en su grupo sea alta o baja III: será el que presente menor coeficiente de divergencia con respecto a la clasificación de las líneas por su ACG. IV: será el que presente menor efecto genotípico y el menor efecto de interacción línea x probador con las líneas.

## **Análisis Línea x Probador (L x P)**

El método línea por probador propuesto por Kempthorne es una de las más poderosas herramientas que existen para estimar efectos de aptitud combinatoria ya que ayuda en la elección y selección de los progenitores deseables y su cruce para su explotación y mejoramiento. Debido a que la interacción línea por probador integra mucha variación en los materiales. (Fellahi *et al.*, 2013).

El análisis línea por probador es una extensión del método dialélico de Griffing, en el cual varios probadores son utilizados proporcionando información de ACG y ACE y además permite estimar varios tipos de efectos genéticos (Shingh y Chaudhary, 1985).

Este método constituye la herramienta de uso más frecuente para el estudio genético de poblaciones y el entendimiento de la acción génica en caracteres cuantitativos de importancia agrícola proporcionando al mejorador las herramientas necesarias para tomar decisiones sobre su esquema de mejoramiento a usar para la obtención de genotipos superiores (De la Vega y Chapman, 2006).

En la interacción línea por probador, se destaca por la identificación de los probadores y la definición del mejor probador que identifique a las líneas sobresalientes en cada grupo heterótico. Por lo tanto no solo difieren por su

aportación genética a las líneas, sino además por la forma en que interaccionan con el probador, ya sea dominancia completa, sobre dominancia y ausencia de dominancia (Márquez, 1988).

### **Modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI)**

El modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa se basa en un modelo estadístico lineal-bilineal, en el que los efectos principales de genotipos y de ambientes, considerados términos lineales, se explican mediante un análisis de varianza convencional; el componente bilineal (no aditivo) se atribuye a la interacción genotipo x ambiente y se analiza mediante la técnica de componentes principales (Salas *et al.*, 2009).

En el grafico Biplot generado por el modelo AMMI se pueden observar las diferencias entre ambientes, el grado de interacción de los genotipos con el ambiente, la estabilidad y las adaptaciones específicas de algunos genotipos a determinados ambientes. De igual manera permite el agrupamiento de genotipos sobre la base de su similitud de un comportamiento en diferentes ambientes (Rodríguez, 2010).

(Tamayo *et al.*, 2012) establecieron nuevos criterios para evaluar la resistencia de las variedades de caña de azúcar través de la aplicación de

modelo AMMI, a través de la representación Biplot el modelo permitió apreciar semejanzas y diferencias entre momentos de evaluación, número de hojas y genotipos, también permite visualizar los de mayor contribución a la interacción genotipo x ambiente, mayor susceptibilidad y los más estables en el nivel de reacción de respuesta frente a la roya parda.

El modelo de los efectos aditivos principales e interacciones multiplicativas (AMMI) es uno de los más eficientes en determinar los genotipos más estables y de mayor rendimiento en ensayos multi-ambientales comparados con procedimientos más antiguos como el método de la regresión. Este modelo utiliza el análisis de varianza para estudiar los efectos principales de genotipos y ambientes y el análisis de componentes principales (CP) para los efectos multiplicativos de la interacción entre genotipos y ambientes. En AMMI, se genera un gráfico llamada Biplot donde genotipos y ambientes son representados en el mismo espacio y de allí se pueden realizar inferencias sobre sus interacciones (Rea *et al.*, 2012).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio incluyó 22 líneas segregantes (Cuadro 3.1) pertenecientes al programa de mejoramiento de maíz de bajo del Instituto Mexicano del Maíz (IMM) Dr. Mario E. Castro Gil. Que fueron cruzadas con 3 líneas homocigóticas que fueron usadas como probadores (Cuadro 3.2) previamente clasificadas como élite dentro del programa de mejoramiento de bajo. La cruce de las líneas con los probadores originó 66 híbridos mismos que fueron evaluados en el estado de Guanajuato durante el verano del 2011.

**Cuadro 3.1.** Clave de las líneas, por su origen en el vivero de El Prado NL 2009

Línea	Clave	Línea	Clave
1	113	12	2306
2	123	13	2403
3	206	14	2412
4	1501	15	2421
5	1516	16	2610
6	1601	17	2815
7	1614	18	2824
8	1708	19	2911
9	2018	20	3802
10	2112	21	3815
11	2303	22	4106

**Cuadro 3.2.** Genealogía de los probadores

<b>Probador</b>	<b>Genealogía</b>
<b>1</b>	Línea C
<b>2</b>	43-46-2-3-2-1
<b>3</b>	MSL4-1

### **Formación de cruzas de prueba**

Los híbridos experimentales se conformaron por la cruce de 22 líneas y 3 probadores en el verano del 2009 en un vivero ubicado en el Prado municipio de Galeana, N.L. Donde se generaron los 66 híbridos experimentales. Las líneas fueron usadas como hembras y los probadores como machos. La evaluación de los genotipos se llevó a cabo en una localidad del municipio de Celaya del estado de Guanajuato.

### **Descripción de la localidad de evaluación**

La evaluación de los híbridos experimentales se llevó a cabo en una localidad representativa del estado de Guanajuato durante el año del 2011, la ubicación del sitio de evaluación, se encuentra a una latitud norte de 20°32' y a una longitud oeste 100°49', se encuentra a una altura de 1754 msnm, donde la temperatura media anual oscila entre los 20.6°C y una precipitación pluvial de 597.3 mm.

## **Descripción de la parcela experimental**

La siembra de los tratamientos se llevó a cabo bajo un diseño de bloques al azar con dos repeticiones. La parcela experimental fue un surco de 0.75 m de ancho por 5 m de largo

## **Labores culturales**

Las labores y el control de plagas se llevaron a cabo durante el ciclo vegetativo del cultivo, teniendo como prioridad durante las primeras etapas del crecimiento y desarrollo del mismo, de tal manera que no interfiera en las características experimentales.

**Siembra:** la siembra se llevó de manera manual depositando 2 semillas por golpe a una distancia de 14 cm entre planta y planta, obtenido 35 plantas por parcela.

**Fertilización:** la fórmula de fertilización que se aplicó fue 180-90-00 donde al momento de la siembra se aplicó el 50 por ciento de Nitrógeno y el 100 por ciento de Fosforo, el resto de Nitrógeno se aplicó al realizar el primer cultivo.

**Riegos:** el número de riegos fue variable sujetándose a la precipitación pluvial y en caso de ser necesario se aplicó un riego de auxilio durante el periodo vegetativo en función de los requerimientos del cultivo.

**Control de malezas:** se realizó utilizando herbicidas a base de Atrazina, aplicando al momento de la siembra para evitar la emergencia de la maleza, para evitar la competencia con el crecimiento del cultivo.

**Control de plagas:** para controlar las plagas del suelo se aplicó Furadan 5G, al momento de la siembra, durante el desarrollo del cultivo se aplicó Lorsban 480 EM (Clorpirifos etil) Ambush 50 (Permitrina) para plagas foliares, todas las aplicaciones se hicieron de manera preventiva.

### **Variables agronómicas evaluadas**

**Floración masculina y femenina (FM) y (FH).** Número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta el cincuenta por ciento de las plantas de la parcela experimental presentaron anteras dehiscentes (floración masculina) y estigmas receptivos (floración femenina).

**Altura de la planta (ALP).** Se midió la distancia en centímetros desde la base de la planta hasta la inserción de la hoja bandera.

**Altura de la mazorca (ALM).** Comprende la distancia en centímetros desde la base de la planta hasta el nudo de inserción de la mazorca primaria.

**Acame de raíz (ACR).** Expresado en porcentaje, el número de plantas acamadas por parcela, considerando aquellas que presentaban una inclinación mayor a 30° respecto a la vertical.

**Acame de tallo (ACT).** Es el número de plantas expresado en porcentaje, que presentaron tallo quebrado por debajo de la mazorca principal.

**Plantas con *Fusarium spp.* (PF).** Expresado en porcentaje, número de plantas que se observaron total o parcialmente dañadas por este hongo en cada parcela, con respecto a la parcela total.

**Calificación de plantas (CP).** Es una calificación visual que se le otorga a las plantas por parcela útil que considera apariencia general de la planta (sanidad, uniformidad, vigor). La escala es de 1 a 5 donde (1 muy mala y 5 muy buena).

**Plantas cosechadas (PC).** Es el número de plantas cosechadas por parcela útil.

**Humedad (HUM).** Esta se estimó al momento de la cosecha, tomando una muestra de 100 g, de las mazorcas en cada parcela y se mide con el determinador de humedad Dickey John.

**Rendimiento (REND).** Este valor se obtuvo mediante la producción estimada por parcela experimental expresada en T ha<sup>-1</sup> con una humedad de grano al 15.5 por ciento. Este dato se obtuvo al multiplicar el peso seco (PS) por un factor de conversión (FC).

$$PS = (1 - \%HUM / 100) * PC$$

**Donde:**

**%H**= Porcentaje de humedad del grano a la cosecha

**PC**= Peso de campo en Kg.

$$FC = (10,000m^2 / APU * 0.845 * 1000)$$

**Donde:**

**APU**= Área de parcela útil; resultado de la distancia entre surcos multiplicado por la distancia entre plantas por el número total de plantas por parcela útil.

**0.845**= Constante para transformar el rendimiento de peso seco al 15.5 Por ciento de humedad.

**1000**= Constante para obtener el rendimiento en T ha<sup>-1</sup>.

**10,000**= Valor correspondiente a la superficie de una hectárea en m<sup>2</sup>.

## **Análisis estadístico**

Los híbridos experimentales se analizaron bajo un diseño de bloques al azar, esto para detectar diferencias significativas entre las repeticiones y los híbridos. Auxiliado de un modelo lineal (línea x probador), con la finalidad de detectar diferencias significativas entre líneas, probadores, y su interacción línea por probador, el modelo estadístico empleado para el análisis de varianza fue el siguiente.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

### **Donde:**

$Y_{ij}$  = variable de respuesta

$\mu$  = efecto de la media general.

$\alpha_i$  = efecto de la  $i$ -ésima repetición

$\beta_j$  = efecto del  $j$ -ésimo híbrido.

$\varepsilon_{ij}$  = error experimental.

### **Análisis línea por probador**

Los híbridos simples experimentales se dividieron en sus componentes: líneas, probadores y su interacción línea por probador. Este modelo permite identificar a los mejores progenitores y las mejores cruzas, también estima la

aptitud combinatoria de los genotipos (Ahmed *et al.*, 2003) y otros efectos genéticos (Singh y Chaudhary., 1985).

$$Y_{ijk} = \mu + r_i + l_j + p_k + lp_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

**Donde:**

$Y_{ijk}$  = variable de respuesta.

$\mu$  = efecto de la media general.

$r_i$  = efecto del  $i$ -ésima repetición

$l_j$  = efecto de la  $j$ -ésima línea

$p_k$  = efecto del  $k$ -ésimo probador.

$p_{kj}$  = efecto del  $k$ -ésimo probador por la  $j$ -ésima línea.

$\varepsilon_{ijk}$  = error experimental.

### **Metodología utilizada para el cálculo de ACG de líneas y probadores**

#### **ACG líneas**

$$l_j = \frac{x_{j...}}{pr} - \frac{x_{....}}{lpr}$$

#### **ACG probadores**

$$P_k = \frac{x_{.k.}}{lr} - \frac{x_{....}}{plr}$$

**Donde:**

$l_j$  = aptitud combinatoria de líneas;  $P_k$  = aptitud combinatoria de probadores;  $j$  = número de líneas;  $k$  = número de probadores;  $x_{j...}$  = sumatoria de la  $j$ -ésima línea;  $x_{.k.}$  = sumatoria de  $k$ -ésimo probador  $x_{....}$  = sumatoria total

## **Porcentaje de contribución de las diferentes fuentes de variación del modelo**

Para calcular el porcentaje de contribución se realizó la descomposición de la suma de cuadrados de los genotipos para explorar la contribución de cada uno de los factores a la variación total. Este porcentaje se obtuvo de la suma de cuadrados de las fuentes de variación del análisis de varianza y análisis genético línea por probador.

## **Índice de selección (IS)**

El índice de selección se construyó con base a la metodología propuesta por Barreto *et al.*, (1991). Esto con el propósito de identificar y obtener los genotipos superiores para varias características de una manera simultánea, y tener una selección muy dirigida y eficiente en cuanto a esos genotipos. En este trabajo se consideraron 4 caracteres que mayor valor al mérito se consideró en un solo individuo, para la correcta obtención de los mejores se tomó en cuenta el valor promedio del índice para cada genotipo.

El IS para híbridos se calculó utilizando los valores fenotípicos de cada uno como criterio de selección, se consideró el peso económico de las cuatro variables registradas para cada genotipo: Fusarium (Fus), Humedad (Hum), Rendimiento (Rend) y Calificación de planta (CP). El índice se estimó mediante la metodología propuesta por Barreto *et al.*, (1991) descrita de la siguiente manera:

$$IS = \left\{ \left[ (Y_j - M_j)^2 * I_j \right] + \left[ (Y_i - M_i)^2 * I_i \right] + \dots \left[ (Y_n - M_n)^2 * I_n \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

**Donde:**

$IS$  = índice de selección

$Y_{j..n}$  = variable en unidades Z

$M_{j..n}$  = meta de selección

$I_{j..n}$  = intensidad de selección

Debido a que las variables son parámetros con diferentes unidades (% , T Ha<sup>-1</sup>, calificación visual). Es necesario estandarizar todos los valores para que las características puedan combinarse utilizando la fórmula que a continuación se describe:

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

**Donde:**

$Z$  = valor estandarizado

$Y_j$  = valor observado para la variable  $j$

$\bar{Y}$  = valor promedio de la variable

$S$  = desviación estándar de la variable

La meta deseada se obtuvo generando un valor  $Z$  considerando el valor que mejor fue favorecido para cada variable al cual se le resta la media de la misma y se dividió sobre toda su desviación estándar.

La meta de selección es considerada como los atributos que el mejorador logre y se presente en su selección. En una distribución normal el 99 por ciento de las observaciones se encuentran en el rango que va de -3 a +3 y los valores de la meta de selección toman estos valores.

La intensidad de selección refleja la importancia relativa de las diferentes variables, mediante la intensidad de selección se le otorga la importancia a las variables de acuerdo al interés, estos valores son definidos por el mejorador y toma valores de 0 a 10. Mientras más grande es el valor de la intensidad mayor es el peso que va adquiriendo la variable.

El valor estandarizado de cada una de las variables a la meta deseada, mientras más cerca se encuentre al valor estandarizado más pequeño será el

valor de IS calculado y como resultado tendremos el genotipo con las características deseadas, adquiriendo este un IS superior, en contraste mientras más grande es el valor de IS el genotipo se aleja a lo que el mejorador está buscando.

De acuerdo con (Peña, 2008) la suma de las distancias euclidianas de aquellos genotipos con el menor índice son las que minimizan dicha distancia y representan aquellos genotipos más cercanos a los criterios expresados en la meta asignada a cada variable, y por lo tanto se consideran superiores.

### **Exploración del comportamiento de los probadores considerando el rendimiento de los híbridos.**

Para detectar si todos los probadores pertenecen o no a un mismo grupo heterótico, La utilización del modelo AMMI permitió conocer las agrupaciones entre líneas y probadores, de igual manera permitió detectar si los probadores pertenecen a un mismo grupo heterótico y cuales líneas combinan con estos probadores. También se puede observar cuales probadores y líneas presentan interacción cruzada. Este estudio se hizo mediante el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^p \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} \varepsilon_{ij}$$

**Donde:**

$Y_{ij}$  = Respuesta media de un genotipo  $i$  en un ambiente  $j$   $\mu$  = media general de las observaciones (se estima por medio de  $\mu = \bar{Y}_{..}$ )  $g_i$  = efecto del genotipo  $i$ . (se estima mediante ( $\hat{g}_i = \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..}$ ))  $e_j$  = efecto del ambiente  $j$  (desvío respecto al promedio general del ambiente  $j$  y se estima por medio de ( $\hat{e}_j = Y_{.j} - Y_{..}$ ))  $\lambda_k$  = valor propio del eje  $k$  de componentes principales  $\gamma_{ik}$  = vectores propios unitarios genotípicos asociados a  $\lambda_k$ ;  $\alpha_{jk}$  = valores propios unitarios ambientales asociados a  $\lambda_k$ ;  $\varepsilon_{ij}$  = error del genotipo  $i$  en el ambiente  $j$ ;  $p$  = número de ejes de componentes principales considerados en el AMMI.

**Criterios de selección**

Para la selección de las líneas se consideró la aptitud combinatoria general (ACG) exhibida en los grupos de probadores formados y el total de probadores.

Para la selección de probadores como progenitores se consideró la aptitud combinatoria general (ACG) exhibida para cada una de las variables estudiadas siempre y cuando sean positivas para cada una de estas, en contraste para elegir cual probador discrimina mejor a las líneas se consideró los valores negativos de ACG para las variables (los que muestren más carga genética

para una determinada variable y dar oportunidad a que se manifieste el potencial de las líneas bajo prueba).

Con la finalidad de conocer la ubicación de los probadores en atención a que grupo heterótico pertenecen se exploró su patrón de respuesta para rendimiento con el auxilio del modelo de interacción multiplicativa y efectos principales aditivos (AMMI) este modelo sirvió para clasificar a los probadores por grupos heteróticos, y colateralmente conocer cuales líneas son las más estables a través de los probadores, así como para determinar el poder de discriminación de cada probador esto dependiendo de la longitud del vector mostrado en la gráfica.

La selección de híbridos se realizó atendiendo el valor al mérito del índice de selección.

#### **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Con la finalidad de establecer diferencias estadísticas existentes en los materiales genéticos, repeticiones y sus interacciones se presentan los resultados del análisis de varianza para los 66 híbridos experimentales evaluados en Celaya, Gto. Este análisis estadístico se complementó con un análisis genético línea por probador para estimar efectos genéticos de líneas, probador y la interacción línea por probador.

En los resultados reportados en el Cuadro 4.1 la fuente de variación repeticiones exhibieron diferencias altamente significativas al ( $P \leq 0.01$ ), para las variables acame de raíz y rendimiento, y significativas al ( $P \leq 0.05$ ), para las variables plantas con fusarium y calificación de plantas esto indica que entre las repeticiones el comportamiento es diferente; las variables FM, FH, ALP, ALM, ACT, PC, HUM. No presentaron diferencias significativas, lo que permite deducir que las repeticiones no modifican la expresión de estas variables.

En la fuente de variación híbridos, se detectaron diferencias altamente significativas al ( $P \leq 0.01$ ) para las variables, floración hembra, floración macho, humedad y rendimiento. Indica que existe variabilidad entre los genotipos,

puede inferirse que tal variabilidad genética es atribuida al diferente fondo genético que tiene cada híbrido experimental, así como a la expresión que muestran al ser expuestas al ambiente y a la interacción genotipo ambiente. Las fuentes de variación restante no presentaron diferencias significativas, esto indica que para estas variables los híbridos fueron similares en su comportamiento.

La fuente de variación híbridos, se desglosa en el efecto de líneas, probadores y la interacción línea por probador; donde el efecto de líneas presenta diferencias altamente significativas al ( $P \leq 0.01$ ) para las variables humedad y rendimiento esto indica que las líneas se comportan de diferente manera dependiendo del fondo genético de cada una de estas, esto permite que el mejorador tenga un margen para la selección de líneas con características deseables que serán útiles en su programa de mejoramiento y en la generación de nuevos híbridos; la variable altura de mazorca presenta diferencias significativas al ( $P \leq 0.05$ ) lo que indica que al momento de seleccionar se puede tomar en cuenta esta variable. Para mayor detalle de selección se presenta la ACG de las líneas en el Cuadro 4.3.

Por su parte la fuente de variación probador, presenta diferencias altamente significativas al ( $P \leq 0.01$ ) para las variables floración macho, floración hembra, plantas con fusarium, calificación de plantas, plantas cosechadas, humedad y rendimiento esto indica que los probadores exhiben diferente

comportamiento para dichas variables; las variables restantes no presentaron diferencias significativas.

Con respecto a la interacción línea por probador se detectaron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) solamente para la variable rendimiento, esto dice que los materiales resultantes se comportaran de diferente manera dependiendo del fondo genético de los progenitores, para las variables floración hembra y floración macho presentan diferencias significativas al ( $P \leq 0.05$ ) lo que indica que en estas variables las líneas no guardaron el mismo orden en atención a los probadores. Nuevamente para ampliar esta discusión es necesario ver los patrones de respuesta arrojados por el gráfico 4.1.

**Cuadro 4.1.** Cuadrados medios del análisis de varianza de 66 híbridos formados a partir de 22 líneas con 3 probadores evaluados en el estado de Guanajuato.

		<b>FM</b>	<b>FH</b>	<b>ALP</b>	<b>ALM</b>	<b>ACR</b>	<b>ACT</b>	<b>PF</b>	<b>CP</b>	<b>PC</b>	<b>HUM</b>	<b>REND</b>
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>días</b>	<b>días</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>			<b>%</b>	<b>Ton/Ha<sup>-1</sup></b>
<b>REP</b>	1	3.66	1.70	334.09	128.03	554.19**	0.002	246.30*	3.66*	95.03	0.93	42.09**
<b>HIB</b>	65	13.95**	12.56**	278.41	431.11	57.19	1.43	66.17	0.84	41.46	4.41**	32.81**
<b>LINEA</b>	21	5.35	4.83	409.77	641.16*	33.05	1.04	74.00	0.37	39.27	4.94**	37.40**
<b>PROBADOR</b>	2	234.23**	214.57**	19.50	493.18	17.12	3.15	382.84**	7.37**	207.00**	35.47**	12.23*
<b>LINEA*PROB ADOR</b>	42	7.75*	6.80*	225.06	323.14	71.17	1.55	47.18	0.76	34.68	2.67	31.49**
<b>ERROR</b>	65	4.89	4.22	300.24	373.41	51.91	1.72	61.17	0.80	39.92	1.97	3.17
<b>C.V.</b>		2.80	2.55	6.45	12.11	49.98	351.08	76.37	28.88	21.74	9.42	16.24
<b>MEDIA</b>		78.80	80.32	268.48	159.54	14.42	0.37	10.24	3.10	29.06	14.92	10.96

\*= Significante al  $P \leq 0.05$  de probabilidad, \*\*= Altamente significativo al  $P \leq 0.01$  de probabilidad, FV= Fuentes de variación, GL= Grados de libertad, FM= Floración macho (días), FH= Floración hembra (días), ALP= Altura de la planta (cm), ALM= Altura de la mazorca (cm), ACR= Acame de raíz (%), ACT= acame de tallo (%), PF= plantas con fusarium (%), CP= Calificación de plantas (1-5), PC= Plantas cosechadas, HUM= Humedad (%), REND= Rendimiento (ton/ha<sup>-1</sup>).

## **Porcentaje de contribución de las fuentes de variación para cada una de las variables**

Una vez que se analizaron los patrones de respuesta estadísticos de los cuadrados medios, se prosiguió con la estimación de las aportaciones expresadas en porcentajes por cada una de las fuentes de variación. Para el cálculo de este estimado se utilizaron los valores obtenidos por la suma de cuadrados tanto del análisis de varianza como del modelo línea por probador los resultados se reportan en el Cuadro 4.2.

En repeticiones se obtuvieron las siguientes contribuciones, acame de raíz 7.24 por ciento, plantas con fusarium 2.88 por ciento, calificación de plantas 3.31 por ciento, plantas cosechadas 1.74 por ciento, rendimiento 1.76 por ciento. La aportación de esta fuente es baja por lo que se deduce que las repeticiones no influyeron de gran manera al desarrollo del material experimental.

En híbridos, que es la fuente de variación que mejor se asocia con la varianza genética, las contribuciones fueron las siguientes: en floración macho 73.79 por ciento, floración hembra 74.7 por ciento, humedad 68.94 por ciento y rendimiento 89.57 por ciento, estas variables tienen una alta contribución por lo que se les debe brindar un mayor peso al momento de construir el índice de selección lo cual permitirá hacer un trabajo de mejoramiento más eficiente al momento de seleccionar; las variables altura de mazorca, plantas con fusarium

plantas cosechadas con aportaciones de 53.45, 50.46, 50.05 por ciento, respectivamente presentan una aportación intermedia; para altura de la planta 47.69 por ciento, acame de raíz 48.61 por ciento, acame de tallo 45.51 por ciento, calificación de plantas 49.32 por ciento, como puede observarse las últimas variables hacen la más baja contribución pero por supuesto nada despreciable ya que su magnitud indica que su contribución genética es muy favorable.

**Cuadro 4.2.** Aportación de los componentes del modelo estadístico a la varianza total, expresado en porcentaje.

<b>FV</b>	<b>FM</b>	<b>FH</b>	<b>ALP</b>	<b>ALM</b>	<b>ACR</b>	<b>ACT</b>	<b>PF</b>	<b>CP</b>	<b>PC</b>	<b>HUM</b>	<b>REND</b>
<b>REP</b>	0.29	0.15	0.88	0.24	7.24	0.0012	2.88	3.31	1.74	0.22	1.76
<b>HIB</b>	73.79	74.7	47.69	53.45	48.61	45.51	50.46	49.32	50.05	68.94	89.57
<b>LINEA</b>	9.15	9.28	22.67	25.68	9.07	10.68	18.23	7.1	15.31	24.93	32.98
<b>PROBADOR</b>	38.12	39.26	0.1	1.88	0.44	3.07	8.98	13.33	7.68	17.04	1.02
<b>LINEA*</b>	26.51	26.15	24.91	25.88	39.09	31.75	23.24	28.88	27.04	26.96	55.55
<b>PROBADOR</b>											
<b>ERROR</b>	25.9	25.14	51.42	46.3	44.13	54.48	46.64	47.35	48.18	30.83	8.65

FV= Fuentes de variación, FM= Floración macho, FH= Floración hembra, ALP= Altura de la planta, ALM= Altura de la mazorca, ACR= Acame de raíz, ACT= acame de tallo, PF= plantas con fusarium, CP= Calificación de plantas, PC= Plantas cosechadas, HUM= Humedad, REND= Rendimiento.

Es importante destacar que estos valores se deben tomar con toda la reserva de la situación ya que la evaluación corresponde a un sólo ambiente y es bien conocido que cuando se evalúan en un mayor número de localidades esta proporción baja considerablemente al repartirse el porcentaje entre los ambientes y la interacción de los genotipos con el ambiente.

La fuente de variación híbridos se desglosó en 3 componentes los cuales son: Línea, probador y la interacción línea por probador, en los que se obtuvieron los siguientes resultados:

Para, las variables floración hembra y floración macho se encontró un mayor aporte por parte de probadores con un 38.12% y 39.26% respectivamente, esto indica que los probadores determinan en mayor grado el comportamiento de estas variables al generar nuevos individuos, seguido de la interacción línea por probador aportando para floración macho 26.51% y 26.15% para floración hembra, cabe mencionar que la interacción está influenciada por efectos no aditivos en los resultados se puede apreciar que este carácter también está influenciado por estos efectos existentes en la cruce línea por probador.

Para altura de planta el efecto que más aporta es línea por probador 24.91%, y altura de mazorca 25.88%, la alta contribución al total de estos caracteres se debe en gran medida a los efectos no aditivos que controlan esta interacción. Los efectos aditivos están presentes y tienen gran aportación al

total debiéndose a que las líneas aportan 22.67 por ciento en altura de planta y 25.08 por ciento en altura de mazorca, esta contribución indica que a pesar de que los valores de la interacción línea por probador son altas, las líneas de igual manera controlan en gran medida este carácter. Los probadores son los que presentan los más bajos porcentajes de aportaciones, ya que sólo contribuyen con 0.1 por ciento, para altura de planta y 1.88 por ciento, para altura de mazorca. Esto últimos resultados son buenos para la investigación ya que los probadores son usados para discriminar a las líneas.

Para las variables acame de raíz y acame de tallo, el efecto que mayor aportación muestra es la interacción línea por probador 39.09 y 31.75 por ciento, respectivamente se deduce que esta interacción está influenciada de gran medida por fuertes efectos no aditivos. Las líneas que son las que aportan efectos aditivos presentan 9.07 y 10.68 por ciento para acame de raíz y acame de tallo respectivamente, cabe mencionar la selección dentro de las líneas permitirá reducir el acame. Estos valores se deben considerar, ya que son características que se heredan a los progenitores, los probadores son los que más bajo porcentaje de aportación presentan, 0.44 y 3.07 por ciento para acame de raíz y acame de tallo respectivamente.

Para plantas con fusarium el efecto que más aporta a la varianza total es la interacción línea por probador 23.24 por ciento, haciendo mención que este efecto está controlado por efectos no aditivos. Seguido del efecto de líneas 18.23 por ciento, exhibiendo un alto porcentaje de contribución en cuanto a la

enfermedad, e infiriendo que este efecto está controlado por efectos aditivos se sugiere una adecuada selección entre ellas que permitirá reducir la incidencia de fusarium; por su parte los probadores que aportan 8.98 por ciento al total de la varianza indicando que los probadores no enmascaran a los nuevos individuos al momento de ser cruzados y evaluados.

Para la variable calificación de planta el efecto que más aporta a la varianza total es la interacción línea por probador 28.88 por ciento el control de esta variable está muy influenciada por efectos no aditivos, los efectos genéticos (aditivos) exhiben un bajo porcentaje, aportando 13.33 por ciento para probadores y 7.1 por ciento para líneas.

Para la variable humedad se detecta una aportación muy similar dada por los efectos de la interacción línea por probador con 26.96 por ciento haciendo hincapié en cuanto a este efecto que está controlado por efectos no aditivos. Seguido por el efecto de líneas 24.93 por ciento. Por su parte los probadores aportan 17.04 por ciento, esto indica que el comportamiento del híbrido para esta variable está influenciado por efectos no aditivos de línea por probador y de los efectos aditivos presentes tanto en las líneas como en los probadores.

Para la variable rendimiento el efecto que más aporta a la varianza total es la interacción línea por probador 55.55 por ciento, esto sugiere fuertes efecto no aditivos controlando este carácter (heterosis) seguido del efecto aditivo de las líneas que aportan el 32.96 por ciento a la varianza total esto indica que

haciendo selección dentro de las líneas aumentaría el rendimiento de estas lo cual las hace más eficientes al momento de cruzarlas con un buen probador y generen genotipos superiores. Por su parte los probadores contribuyen con un porcentaje muy bajo indicando 1.02 por ciento esto indica que los probadores cumplen con su cometido central, al discriminar a las líneas.

Es de destacar que en las líneas las variables que más afectan son altura de planta y altura de mazorca esto indica que al intentar hacer selección para estas variables se debe enfocar en gran medida en las líneas.

Por su lado los probadores, las variables que más afectan y controlan son floración macho y floración hembra deduciendo que la selección para obtener genotipos precoces o tardíos dependiendo de lo que el programa de mejoramiento y el mejorador utilice la selección se debe centrar en la correcta elección de los probadores.

La importancia que juega la interacción línea por probador es de consideración para la mayoría de las variables, excepto para las floraciones, lo que demuestra que en los híbridos las variables son influenciadas por efectos del tipo no aditivo.



con el probador mencionado forma el híbrido que mayor rendimiento presenta para este grupo.

El segundo grupo está conformado por el probador 2 (43-46-2-3-2-1), y las líneas que más se asocian a este probador son la L19 (2911) y la L8 (1708) y el probador 1 (Línea C), la línea que más se asocian a este probador y que se muestra en el grafico AMMI es la 16 (2610)

Con relación al poder de discriminación de los probadores, se aprecia al probador 3 (MLS4-1) es el mejor atendiendo la longitud del vector, de acuerdo con (Rodríguez, 2010) en el gráfico Biplot generado por el modelo. AMMI se pueden observar las diferencias entre ambientes, el grado de interacción de los genotipos con el ambiente, la estabilidad y las adaptaciones específicas de algunos genotipos a determinados ambientes. De igual manera permite el agrupamiento de genotipos sobre la base de su similitud de un comportamiento en diferentes ambientes.

Las líneas que más estabilidad mostraron a través de probadores son las líneas 7 (1614) y 18 (2824), esto se debe a que se encuentran más cercanas a cero por lo tanto tienen el vector más corto, esto se puede apreciar en la gráfico AMMI.

En cuanto a la interacción cruzada (grupos heteróticos diferentes) se observa que el probador 3 (MSL4-1), pertenece a un grupo heterótico diferente

de los probadores 1 (Líneas C) y 2 (43-46-2-3-2-1) el gráfico AMMI muestra que estos probadores presentan interacción cruzada con respecto al probador 3 (MSL4-1) indicando que hacen un ordenamiento diferente de las líneas en base a rendimiento por lo que se sugiere hacer selección en base de cada probador y no por el total de los probadores.

Los resultados anteriores están de acuerdo con lo mencionado por De León (2005), en el que indica a los vectores de los probadores con ángulos menores a  $90^\circ$  mantienen la relación en la manera de ordenar los genotipos, los cuales son de gran importancia para los mejoradores, en contraste los que tienen un ángulo inferior a  $180^\circ$  tienden a ordenar de manera contrastante a los genotipos evaluados el cual hace la selección más difícil o con mayores sesgos de lo que el mejorador espera obtener al momento de seleccionar.

### **Selección de líneas a partir de su aptitud combinatoria general (ACG)**

El Cuadro 4.3 muestra las estimaciones de los efectos de aptitud combinatoria general (ACG), en el que se presentan los estimados dados por a) probador 3, b) probadores 1 y 2 y c) todos los probadores. Esto se realizó con el objetivo de atender la respuesta de cada una de las líneas en la formación de híbridos específicos dependiendo del grupo heterótico y de la estabilidad de las líneas.

En el grupo formado por el probador 3 (MSL4-1) la línea que mejor ACG presentó fue la 17 (2815) destacando que la cruza con este probador le permitió expresar su potencial genético. La línea 21 (3815), presenta resultados positivos de ACG no tan marcados como la antes mencionada, pero al momento de hacer la selección dentro las líneas con base a rendimiento esta se debe tomar en cuenta, cabe mencionar que esto se puede corroborar con los resultados obtenidos con el gráfico Biplot anteriormente descrito.

En el grupo formado por los probadores 1 (línea C) y 2 (43-46-2-3-2-1), las líneas que mejor ACG presentaron son; 22, 20, 19, 12, 8, 21, 6. Estas de manera descendente resultados que se correlacionan muy bien con lo detectado en el gráfico Biplot donde también se puede apreciar que la línea que más bajos efectos mostró es la 14 (2412) esto obedece a que presenta interacción cruzada con estos dos probadores esto se puede apreciar en el gráfico AMMI.

**Cuadro 4.3** Aptitud combinatoria general de líneas con base a rendimiento dentro de los probadores, grupos formados y el total de probadores.

No. Línea	Clave de las líneas	Probador		
		3	1y2	1,2,3
1	113	2.7202	-0.79517	0.37662
2	123	0.25723	-1.11026	-0.65443
3	206	1.64685	-4.77567	-2.63483
4	1501	2.82856	-0.45862	0.63711
5	1516	-0.61361	-2.25936	-1.71078
6	1601	0.12225	2.81427**	1.91693*
7	1614	0.35178	0.51497	-0.22606
8	1708	-2.01450	3.34524**	1.55866
9	2018	-4.33773	-2.97294	-3.42787
10	2112	0.6154	-1.61438	-0.87112
11	2303	-5.45661	1.64653	-0.72119
12	2306	0.58807	3.46650**	2.50702**
13	2403	-8.78052	-2.26002	-4.43352
14	2412	1.37027	-7.51553	-4.5536
15	2421	1.31369	-4.15113	-2.32953
16	2610	-2.73804	-0.17694	-1.03064
17	2815	9.14397**	-0.06287	3.00607**
18	2824	3.16448	1.99360*	2.38389**
19	2911	2.11465	3.57888**	3.09080**
20	3802	0.54867	4.24005**	3.00959**
21	3815	5.42124*	2.95514**	3.77717**
22	4106	-8.26626	4.62765**	0.32968

\*\*= Altamente significativo al 0.01% de probabilidad, \*= significativo al 0.05% de probabilidad

Por su parte el grupo formado por los tres probadores en conjunto, las líneas que mejor ACG presentaron son; 21, 19, 20, 17, 12, 18, 6. Estas líneas en base a rendimiento son las mejores al momento de seleccionar líneas considerando los tres probadores.

Haciendo un análisis general de las líneas con mejor ACG en cada uno de los grupos formados y a través del total de probadores se identificó como sobresaliente a la línea 21(3815).

### **Selección de probadores para emplearse como progenitores de híbridos o como discriminadores de líneas, en atención a sus estimados de ACG**

Para la variable floración macho, floración hembra y contenido de humedad el probador 2 (43-46-2-3-2-1), presenta valores positivos y estadísticamente diferentes de cero al ( $P \leq 0.01$ ), indicando que al cruzar las líneas con este probador genera individuos más tardíos, esta característica se expresarán en el alto porcentaje de humedad al momento de la cosecha, se recomienda usar este probador para discriminar a las líneas ya que al tener valores agronómicamente desfavorables para estas variables, al momento de la generación de nuevos individuos este no enmascara a las líneas permitiendo que expresen la precocidad que tienen.

**Cuadro 4.4** Aptitud combinatoria general de probadores para cada una de las variables estudiadas.

ACG PROBADORES												
PROB ADOR	GENEA LOGÍA	FM	FH	ALP	ALM	ACR	ACT	PF	CP	PC	HUM	REND
1	LINEA C	-0.93	-0.9	0.26	-3.86	0.59	-0.3	0.88	-0.46	-1.62	-0.3	-0.56
2	43-46-2-3-2-1	2.63**	2.51**	-0.75	1.81	0.05	0.18	2.4	0.28	-0.83	1.00**	0.48
3	MSL4-1	-1.69	-1.62	0.5	2.04	-0.64	0.11	-3.29	0.18	2.46*	-0.7	0.07

\*= Significante al 0.05 % de probabilidad, \*\*= Altamente significativo al 0.01 % de probabilidad, FM= floración macho, FH= floración hembra, ALP= altura de la planta, ALM= altura de la mazorca, ACR= acame de raíz, ACT= acame de tallo, PF= plantas con fusarium, CP= calificación de plantas, PC= plantas cosechadas, HUM= humedad, REND= rendimiento.

El resto de las variables no presentan diferencias significativas, por lo que se deduce que estadísticamente sus efectos de ACG son iguales a cero por lo tanto no se puede recomendar ningún probador como progenitor y mucho menos para discriminar a las líneas.

### **Selección de híbridos atendiendo el valor al mérito del índice de selección**

Con la objetivo de probar la hipótesis de que existe diferencia entre los híbridos experimentales con base en la variable de respuesta IS, se realizó un análisis de varianza (es importante recordar que el índice de selección se construyó con las variables, 1 por ciento de fusarium, 2 por ciento de humedad del grano al momento de la cosecha, 3 rendimiento de mazorca al 15.5 por

ciento de humedad y 4 calificación de planta) cuyos resultados se presentan en el Cuadro 4.5.

La fuente de variación híbridos presenta diferencias altamente significativas al ( $P \leq 0.001$ ), esto indica la amplia variación genética que existe entre los genotipos para la variable IS, esto se puede atribuir al fondo genético diferente de cada uno de los materiales y esta diferencia estadística permitirá una eficiente selección de los híbridos con mejores atributos.

La fuente de variación repeticiones presenta diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) esto se debe al índice de selección que cada repetición presentó diferentes valores para la variable IS.

**Cuadro 4.5** Cuadrados medios del análisis de varianza aplicado a la variable de respuesta índice de selección de 66 híbridos evaluados en el Edo. De Guanajuato.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>IS</b>
<b>HIB</b>	65	11.38403**
<b>REP</b>	1	401.93213**
<b>ERROR</b>	65	4.56355
<b>CV</b>	15.62893	
<b>MEDIA</b>	13.66854	

\*\* = Altamente significativo al ( $P \leq 0.01$ ) FV= fuentes de variación GL= grados de libertad IS= índice de selección.

Posterior a la interpretación estadística de las fuentes de variación del Cuadro 4.5, en el Cuadro 4.6 se presentan los híbridos de mejor valor al mérito del IS de acuerdo a las agrupaciones Tukey al 0.05 por ciento de probabilidad.

**Cuadro 4.6** Híbridos de alto valor al mérito atendiendo los estimados del IS y su respectiva agrupación estadística.

LUGAR	No. HIB.	GENEALOGÍA	FUS %	HUM %	REND	CP	VALOR PROMEDIO IS	AGRUPAMIENTO TUKEY
1°	42	2412*MSL4-1	1.51	13.9	12.41	4.5	8.78	C
2°	3	113*MSL4-1	0	13.9	13.76	3.5	9.31	BC
3°	21	1614*MSL4-1	3.03	12.9	11.39	4	9.41	BC
4°	63	3802*MSL4-1	8.57	13.2	16.46	3	9.44	BC
5°	57	2911*MSL4-1	8.57	14.0	13.15	3.5	10.33	ABC
6°	5	123*43-46-2-3-2-1	12.31	13.9	13.24	4	10.37	ABC
7°	56	2911*43-46-2-3-2-1	8.62	15.75	16.73	3.5	11.04	ABC
<b>MEDIA</b>		13.668						
<b>VALOR MÁXIMO IS</b>		19.466						
<b>VALOR MÍNIMO IS</b>		8.785						

FUS= porcentaje de *Fusarium*, HUM= porcentaje de humedad, REND= rendimiento, CP= calificación de plantas, IS= índice de selección.

Se determina que el mejor híbrido es el 42 este resulta de la cruce de la línea 14 con el probador 3 (2412\*MSL4-1), este híbrido presentó el valor más bajo en el índice de selección 8.78, por lo que se deduce que este genotipo es superior a los demás, así mismo contiene las características que el mejorador busca o se acerca a estas. Este híbrido presenta buena sanidad y rendidor de

igual manera es un genotipo con muy buena apariencia general por su valor mostrado en calificación de las plantas (4.5).

El híbrido 3 resulta de la cruce de la línea 1 con el probador 3 (113\*MSL4-1), este híbrido está formado por una línea hermana del híbrido anterior quizá por eso se ubica en el segundo puesto con un valor de IS de 9.31 y debido a que este híbrido muestra en sus resultados fenotípicos que es un genotipo con una excelente sanidad y muy buen rendimiento 13.76 T ha<sup>-1</sup> ocupando el segundo lugar en cuanto a esta variable, el porqué de este híbrido no ocupa el primer lugar se debe a su apariencia general demostrando en sus valores fenotípicos un poco alejado a lo que el mejorador está buscando. Hay que prestarle atención en cuanto a este híbrido ya que es el segundo en cuanto a rendimiento y solamente se ocupa esta posición por el valor de IS.

Numéricamente le sigue el híbrido 21 resultado de la cruce de la línea 7 que es también una línea hermana de los dos híbridos anteriores con el probador 3 (1614\*MSL4-1), de igual manera este híbrido se encuentra en tercer lugar con un valor al mérito de 9.41, el posicionamiento en 3er lugar es claramente marcado por los valores fenotípicos para este híbrido aunque presenta valores positivos para calificación de plantas 4, demuestra ser un híbrido precoz como lo presenta el valor de la humedad siendo el porcentaje de humedad más bajo para el grupo de híbridos superiores 12.9. Presenta valores negativos para fusarium 3.03 y valores no tan contrastantes para rendimiento 11.39 T ha<sup>-1</sup> ubicándolo como el híbrido menos rendidor de este grupo.

En cuarto lugar se encuentra el híbrido 63 resultando de la cruce de la línea 21 con el probador 3 (3802\*MSL4-1), con un rendimiento estimado de 16.46 T ha<sup>-1</sup> posicionándose como el híbrido de mayor rendimiento que se muestra en el grupo de los híbridos potencialmente superiores. En este híbrido la línea es de un fondo genético muy diferente a las anteriores y con un excelente comportamiento agronómico en la zona de interés. Posicionándolo como un híbrido intermedio, ocupa el cuarto lugar debido a que presenta un índice de selección alto 9.44, del grupo de híbridos superiores, cabe hacer hincapié en el rendimiento de este híbrido, pero se sugiere trabajar más con este híbrido ya que tiene el potencial de rendimiento.

Posicionándose en la quinta posición se encuentra el híbrido 57 resultante de la cruce de la línea 19 (2911) con el probador 3 (2911\*MSL4-1) este híbrido exhibe un valor al mérito de 10.33 posicionándolo como un híbrido alejado a lo que el mejorador está buscando. Cabe mencionar que este híbrido presenta un buen rendimiento y demuestra una buena apariencia como se indica en la calificación de la planta, este genotipo presenta alta incidencia de Fusarium y es un material tardío como lo demuestra el porcentaje de humedad.

El híbrido 5 generado de la cruce de la línea 2, por el probador 2 (123\*43-46-2-3-2-1) ocupa la sexta posición en el grupo de híbridos potencialmente superiores, este genotipo presenta el porcentaje más alto de Fusarium con 12.31, indicando que este material es muy susceptible a esta enfermedad, presenta un valor al mérito de 10.37 el cual indica que se encuentra alejado de

una manera considerable a lo que el mejorador está buscando. El porcentaje de humedad 13.9 lo posicionan como un híbrido intermedio, este genotipo presenta un buen rendimiento y una muy buena apariencia general 4. Esto se debe de considerar al momento de la selección ya que tiene diferente fondo genético al que los cuatros anteriores.

El híbrido 56 ocupa la séptima posición resultante de la cruce de la línea 19 por el probador 2 (2911\*43-46-2-3-2-1) exhibe un valor al mérito de 11.04 valor que lo ubica como un genotipo muy alejado a lo que el mejorador está buscando, dentro del grupo de los híbrido potencialmente superiores presenta el mayor rendimiento  $16.73 \text{ T ha}^{-1}$ , indicando que tiene un fondo genético diferente a los 5 primeros, en contraste es un híbrido muy tardío ya que a la hora de la cosecha presentó el porcentaje de humedad más alto 15.75, tiene una incidencia de fusarium fuerte, este genotipo contrasta con los resultados demostrados por el híbrido anterior el cual proviene de una línea hermana y la apariencia general de la planta, se encuentra alejada de lo que el investigador está buscando.

Los últimos tres son híbridos que presentan muy buen potencial de rendimiento, el hecho de que se encuentren en esas posiciones se debe al valor al mérito que presentan cada uno de ellos, esto se puede resaltar de acuerdo a las agrupaciones esta dísticas, donde el mejor híbrido 42 (solamente se encuentra en un grupo estadístico), le siguen los híbridos 3, 21, 63 (comparten

dos grupos estadísticos) y los híbridos 57, 5, 56 (se encuentran compartiendo 3 grupos).

Todo lo anterior está de acuerdo con lo indicado por Barreto *et al.* (1991) quienes dicen que el valor más bajo se asocia con el genotipo que cuenta con las características que el mejorador busca o el que más se acerca a este. En contraste, los genotipos que mayor índice presentan indican que el genotipos está muy lejos de lo que se está buscando por parte del mejorador.

## V. CONCLUSIONES

- I. Los valores estimados de ACG, por grupos heteróticos permitió identificar una línea superior en todos los agrupamientos que fue la 21 (3815).
- II. El probador que mostró efectos agrónomicamente desfavorables en las variables floración macho, hembra y humedad fue el 2 (43-46-2-3-2-1) deduciendo que este probador puede ser usado para discriminar líneas en estas variables.
- III. Con la ayuda de la metodología de índices de selección se identificaron 4 híbridos superiores: el 42 (2412\*MSL4-1); el 3 (113\*MSL4-1); el 21 (1614\*MSL4-1) y el 63 (3802\*MSL4-1) e identificando al híbrido 42 2412\*MSL4-1) como el mejor híbrido presentando el valor más bajo de índice de selección.

## VI. RESUMEN

En el Instituto Mexicano del Maíz (IMM) se realizan investigaciones que contribuyan a la formación integral de los alumnos de la carrera de Ing. Agrónomo en Producción. En esta investigación entre híbridos experimentales formados bajo el diseño línea por probador tuvo como objetivos principales. I) Identificar líneas superiores por su comportamiento genético a través de su aptitud combinatoria general (ACG). II) Identificar el probador que tenga mayor capacidad de discriminación de líneas, así como identificar el probador que pueda ser utilizado como progenitor de híbridos, tomando en cuenta sus efectos de ACG. III) Identificar por lo menos un híbrido sobresaliente con base a los valores de un índice de selección IS. La evaluación de 66 híbridos experimentales se llevó a cabo en el estado de Guanajuato en el verano del 2011. El diseño empleado para el análisis fue de bloques completos al azar, los efectos de aptitud combinatoria general se estimaron mediante el modelo genético línea por probador. Se exploró el comportamiento de los probadores a través del rendimiento de los híbridos para observar los patrones de respuesta de estas fuentes de variación como lo es el modelo de interacción multiplicativa y efectos principales aditivos (AMMI). Se utilizó la metodología índices de selección IS. Para identificar al menos un genotipo superior al resto utilizando las variables fusarium, humedad, rendimiento y calificación de planta. Los

resultados arrojados por el análisis genético línea por probador permitieron identificar una línea superior la 21 (3815); con base en los valores obtenidos de ACG para probadores permitieron identificar al probador 2 (43-46-2-3-2-1) como discriminador para las variables agronómicas floración macho, floración hembra, y humedad de las líneas por presentar efectos negativos de ACG en estas variables. Por último y auxiliado de la metodología de índice de selección, fue posible identificar 4 híbridos superiores siendo estos el 42 (2412\*MSL4-1), 3 (113\*MSL4-1), 21 (1614\*MSL4-1), 63 (3802\*MSL4-1).

**Palabras clave:** línea, probador, línea x probador, aptitud combinatoria general (ACG), índice de selección IS.

Correo Electrónico: Gregorio Antonio Ramírez CEH [ga.rceh@hotmail.com](mailto:ga.rceh@hotmail.com)

## VII. LITERATURA CITADA

**Ahmed, E. A.; H.S. Ibn, Oaf.; El Jack, A. E.** 2003. Combining Ability and Heterosis in Line x Tester Crosses of Summer Squash (*Cucurbita pepo* L.) Cucurbit Genetics Cooperative Report 26 (54): 56.  
<http://cuke.hort.ncsu.edu/CGC/cgc26/cgc26-17.pdf>

**Asghar M, J.; Medhi, S. S.** 2010. Selection Indices for Traits in Sweet Corn. Pak J Bot. 42 (2): 775-789.

**Barreto H, J.; Bolaños, J.A.; Córdova, H. S.** 1991. Programa Índice de Selección. Guía para la Operación del software. CIMMYT. México. D.F. 27.

**Bänzinger, M.; Edmeades, G.O.; Beck. D. y Bellón. M.** 2000. Breeding for Drought and Nitrogen Stress Tolerance in Maize: From Theory to Practice. México, D.F.CIMMYT.

**Bänziger, M.; Edmeades, G.O.; Beck. D. y Bellón. M.** 2012. Mejoramiento para aumentar la tolerancia a sequía y a deficiencia de nitrógeno en el maíz: De la teoría a la práctica. México, D.F. CIMMYT.

**Camacho E, M. M.; Cabrera, V. F. A.; García, B. D.** 2006. Efectos heteróticos y habilidad combinatoria para el rendimiento por planta en cucúrbita moschata Duch. Ex poir. Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín. 59 (1): 3105-3.

**Cerón Rojas, J.J.; Sahagún, Castellanos. J.** 2005. Un índice de selección basado componentes principales *en: Agrocienca* (39) 667-677.

**De León Castillo, H.** 2005. Estudio y clasificación de grupos germoplasmicos para la constitución genética de patrones heteróticos en maíz. Tesis doctorado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo México.

**De la Vega, A.; Chapman, S. C.** 2006. Multivariate analyses to display interactions between environment and general or specific combining in hybrid cross. *Crop Sci.* (46): 957-967.

**Deitos A, Adilson.; Emmanuel, Arnhold.; Mora, Freddy; and Vieira Miranda, Glauco.** 2006. Yield and combining ability of maize cultivars under different ecogeographic conditions. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* (6): 222-227.

**Donnet, L.; López. D.; Arista, J.; Carrión. F.; Hernández, V.; González, A.** 2012. El potencial de mercado de semillas mejoradas de maíz en México. México. CIMMYT.

**Estadísticas de la producción de maíz 2014.** Disponible en:

<http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Ma%C3%ADz%20%28may%202014%29.pdf>

**Fellahi Z, El A.; Abderrahmane, H.; Hamenna, B.; Ammar, B.** 2013. Line x Tester Mating Design Analysis for Grain Yield and Yield related Traits in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) International Journal of Agronomy 2013, ID 201851, 9 pages. Algeria.

**Ferreira, F. M.; Junior, J. I. R.; Pacheco, C. A. P.; Silva, C. H. O and Filho, Jr S. M.** 2004. Genetic components of combining ability in a complete diallel Crop Breed. App. Biotechnol. (4): 338-343.

**Gutiérrez, Del R. E.; Espinoza, B. A.; Palomo, G. A.; Lozano, G. J. y Antuna, G. O.** 2004 Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la Comarca Lagunera. Rev. Fitotec. Méx. (27): 7-11.

**Lobato Ortiz, R.; Molina Galán, J. D.; López Reynoso, J. de J.; Mejía Contreras, J. A.; Reyes López, D.** 2010. Criterios para elegir el mejor probador de la aptitud combinatoria general para rendimiento de grano de líneas autofecundadas de maíz. México D.F. En Agrociencia (44): 17-30.

**Márquez S, F.** 1988. Genotecnia Vegetal. Métodos, Teoría y Resultados. Tomo II. AGT editor S. A. México, D. F. 756 pp.

**Peña D, A. Z.** 2008. Identificación de germoplasma con atributos para desarrollar híbridos de maíz. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo Coahuila, México.

**Rea R, O.; De Sousa Vieira, A.; Díaz, M. Ramón R.; Briceño J.; Niño M, George.** 2012. Interacción genotipo-ambiente en caña de azúcar mediante los modelos AMMI y regresión de sitios en Venezuela. Rev. Fac. Agron. (31): 362-376.

**Ramírez Díaz, J. L.; Bonaparte C, M; Vidal M, V. A.; Ron Parra, J.; Hernández C, F.** 2007. Propuesta para formar híbridos de maíz combinando patrones heteróticos. Rev.Fitotec.Mex. 30 (4): 453-461.

**Reyes L, D.; Molina Galán, J. D; Oropeza Rosas, M. A.; Moreno Pérez, E. D.** 2004. Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz de la raza tuxpeño. Texcoco México Rev.Fitotec.Mex. 27 (1): 49-56.

**Rodriguez, R.** 2010. Perfeccionamiento del programa de mejora genética de la caña de azúcar para la obtención de nuevos genotipos tolerantes al estrés por sequía. Tesis de doctorado. Instituto de investigación de la caña de azúcar. Cuba.

**Romero Padilla, J. M.** 2000. Métodos de selección para caracteres múltiples. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco. Edo. De México. 115 pp.

**Salas, E.; Juárez, H. G.; Bonierbale, M.** 2009. Modelos de análisis de estabilidad y definición de ambientes basados en GIS Centro Internacional de la Papa Apartado 1558, Lima 12, Perú; <https://research.cip.cgiar.org/confluence/download/attachments/14942278/Guia+AMMI-GIS.pdf>

**Sierra M, M.; Palafox C, A.; Espinoza C, A.; Caballero H, F.; Rodriguez M, F.; Barrón F, S.; Valdivia B, R.** 2005. Adaptabilidad de híbridos triples de maíz y de sus progenitores para la región tropical del sureste mexicano. L reunión anual del PCCMCA. Agronomía mesoamericana 16(1): 13-18.

**Tamayo, Issac; Puchades Izaguirre, Y.; Rodríguez G, R.; González H, R.; Suarez H, J; Alfonso T, I.; Rodríguez L, E.; La O, E. M.** 2012. Modelos de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa aplicado a la evaluación de la roya parda de la caña de azúcar. Fitosanidad. 16 (3): 129-135. La Habana Cuba.

**Valdivia B, R.; Francisco de Jesús, C. V.; Ortiz Catón, M.; Betancourt V, A.;**

**Alejandro O. C.; Vidal Martínez, V. A.; Espinosa Calderón, A. 2007.**

Desarrollo participativo de híbridos sintéticos de maíz y producción de semilla por agricultores. *Agric. Téc. México.* 33 (2): 135-143.

**Vasal, S.k; San Vicente, F.; Mclean S, Ramanujam, K.; Barandiarán, M.;**

**Ramírez A. G.; Ávila, José.** 1997. Avances en el desarrollo de líneas como probadores en germoplasma tropical de maíz. Síntesis de resultados experimentales del PMR (5): 1993-1995.

**Vasal, S. k.; Vergara, N.; Mclean S Ramanujam, K.** 1994. XXXIX reunión

anual de PCCMCA, Guatemala 2003. Estrategias en el desarrollo de híbridos tropicales de maíz. *Agronomía mesoamericana* (5): 184-189.

**Vieira De S, O.; and Scott M, B.** 2009. Effect of intrarow plant spacing on the

effectiveness of family selection in sugarcane: selection indices. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). *INCI*; 34 (12): 893-896.

**Yáñez Cuéllar, L. F.** 2005. Índices de selección sugerencias para su utilización;

manual de ganadería doble propósito. Universidad Nacional Experimental Sur del lago. Venezuela. 2 (6): 106-110.