

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Probadores Contrastantes en la Selección de Líneas Recicladadas de Maíz, en

Proceso de Endogamia

Por

ABRAHAM ORZUNA MUSITO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo Coahuila, México

Noviembre del 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Probadores Contrastantes en la Selección de
Líneas Recicladas de Maíz, en Proceso de Endogamia

Por:

ABRAHAM ORZUNA MUSITO

TESIS

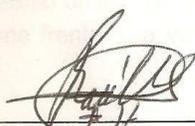
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por:


Dr. Humberto De León Castillo
Asesor Principal


Dr. Alfredo De La Rosa Loera
Coasesor


Ing. Raúl Gandara Huitrón
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía


Coordinación
División de Agronomía
Saltillo, Coahuila, México
Noviembre del 2012

AGRADECIMIENTOS

A mi “*alma mater*” **Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”** por haberme permitido realizar el sueño de alcanzar los estudios de licenciatura en esta institución.

Al Dr. Humberto de León Castillo, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación, así como su apoyo, amistad y asesoría.

Al Dr. Alfredo De La Rosa Loera, por sus valiosos consejos y apoyo brindado durante mi formación profesional, así como sus observaciones y comentarios en la presente investigación, que aun estando ocupado, me proporcionaba de su tiempo para atender mis asistencias.

Al Ing. Raúl Gándara Huitrón, por la paciencia y confianza depositada, por su amistad y sus consejos que fueron de gran importancia para la revisión del presente trabajo.

A Noé Musito Ramírez, por haber confiado en mí y darme la oportunidad de seguir con mis estudios, además de haberme brindado su valioso apoyo en todo momento y hacerme comprender que la vida es como un espejo: si sonrío, el espejo me devuelve la sonrisa. La actitud que tome frente a la vida, es la misma que la vida tomará ante mí.

A Gregorio Musito Ramírez, por todo el apoyo moral y económico que me brindo durante mi formación, por haberme enseñado que un verdadero líder es aquel que se siente subyugado, pues un líder que se hace distinguir y admirar, no es un líder, es un necio que se quiere hacer notar.

A Arturo Musito Ramírez, por el apoyo moral y económico brindado durante mi estancia en la universidad, además de hacerme ver que la inteligencia más carácter es la meta de la verdadera educación.

DEDICATORIA

Muy especialmente y con el más sincero afecto y admiración dedico este trabajo a mis padres por sus atenciones y esfuerzos puestos en mí.

A MI MAMÁ REYNA MUSITO RAMÍREZ:

*Porque siempre me has cuidado y nunca has desviado tu atención a mi y mis hermanas, aun con tu duro trabajo, tus desvelos, preocupaciones y angustias;
Tu eres la única persona que confió en mi y te lo estaré eternamente agradecido.*

A MI PAPÁ GABRIEL GALDINO ORZUNA BENITEZ:

Aun sobre todas las cosas, te estoy inmensamente agradecido, tu trabajo ha sido duro y difícil en la vida, pero has perseverado y luchado sin quejas.

**POR APOYARME EN CADA ETAPA DE MI VIDA Y A PESAR DE
HABERLOS DESILUSIONADO ALGUNA VEZ, ME BRINDARON SU
CONFIANZA POR SEGUNDA OCASIÓN.**

A MIS HERMANAS: GABRIELA Y KARLA.

A MI ESPOSA JOHANA IVONNE *por su paciencia y amor brindado y a toda LA FAMILIA HUERTA GUEVARA, por hacerme sentir parte de su familia en cada convivencia juntos, por la confianza y apoyo que me han dado.*

A TODOS USTEDES GRACIAS, AUNQUE ES MUCHA LA DISTANCIA SIEMPRE ESTUVIERON CON MIGO EN MI MENTE Y CORAZÓN, LLEVO GRABADO SUS SABIOS CONSEJOS Y SUS SONRISAS LLENAS DE CARISMA.

GRACIAS DIOS POR HABERME DADO ESTA MARAVILLOSA FAMILIA.

INDICE DE CONTENIDO

	PAG
INTRODUCCIÓN -----	1
OBJETIVOS-----	3
HIPÓTESIS -----	4
REVISIÓN DE LITERATURA -----	5
RETROCRUZA-----	5
RECICLAJE DE LÍNEAS -----	6
PROBADORES -----	7
IMPORTANCIA DE HÍBRIDOS SIMPLES -----	9
GRUPOS HETEROTICOS -----	11
ÍNDICE DE SELECCIÓN -----	12
MATERIALES Y MÉTODOS -----	14
MATERIAL GENÉTICO -----	14
DESCRIPCIÓN DE LOS AMBIENTES DE EVALUACIÓN-----	16
DESCRIPCIÓN DE LA PARCELA EXPERIMENTAL Y FECHAS DE SIEMBRA-----	17
LABORES CULTURALES -----	18
FERTILIZACIÓN-----	18
RIEGOS -----	18
CONTROL DE MALEZAS-----	18
COSECHA-----	18
VARIABLES AGRONÓMICAS EVALUADAS-----	19
ANÁLISIS DE VARIANZA DE 12 VARIABLES AGRONÓMICAS-----	22
ÍNDICE DE SELECCIÓN-----	23
LA META DE SELECCIÓN-----	25
LA INTENSIDAD DE SELECCIÓN -----	25
CRITERIOS DE SELECCIÓN-----	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	28
CONCLUSIONES -----	45
RESUMEN -----	46
BIBLIOGRAFÍA -----	48

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro

3.1	Genealogía de las líneas recicladas provenientes de cruza simples directas y retrocruza 1, las cuales se cruzaron con el probador 1 (351-296-1-6-A).....	15
3.2	Genealogía de las líneas recicladas provenientes de cruza simples directas las cuales se cruzaron con el probador 2 (MLS4-1).....	16
3.3	Principales características geográficas y ambientales de las localidades donde se establecieron los lotes de evaluación.....	17
4.1	Análisis de varianza para 12 variables a evaluar del probador 1 (351-296-1-6-A) evaluado en dos ambientes durante el 2011.....	29
4.2	Comportamiento promedio de las variables evaluadas por localidad para el probador 1 (351-296-1-6-A) en el 2011.....	32
4.3	Análisis de varianza para 12 variables a evaluar del probador 2 (MLS4-1). Evaluado en dos ambientes durante el 2011.....	36
4.4	Comportamiento promedio de las variables evaluadas por localidad para el probador 2 (MLS4-1) en dos ambientes en el 2011.....	38
4.5	Comprobación entre probadores por medio de los valores de F calculada como criterio de discriminación.....	40
4.6	Cuadrados medios y análisis de varianza para híbridos en base a índice de selección del probador 1 (351-296-1-6-A).....	42
4.7	Cuadrados medios y análisis de varianza para híbridos en base a índice de selección del probador 2 (MLS4-1).....	42
4.8	Híbridos seleccionados por su IS tomando como criterio la media menos 1.75 veces el error estándar de la media (equivalente al 10% superior de la población).....	43

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal del fitomejoramiento genético es incrementar la producción y la calidad de los productos agrícolas por unidad de superficie, en el menor tiempo, con el mínimo esfuerzo y al menor costo posible. Esto se logrará mediante la obtención de nuevas variedades o híbridos de alto potencial, es decir, que produzcan más grano, más forraje, más fruto, o más verduras en la menor área de terreno posible, y que se adapten a las necesidades del agricultor y consumidor.

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**).

Un método de mejoramiento es el cruzamiento de dos líneas puras obteniendo como resultado un híbrido simple, donde ocurre la máxima

expresión de heterosis (vigor híbrido). Sin embargo no todos los híbridos simples tienen padres vigorosos por lo que se recurre al mejoramiento de esos progenitores, donde una metodología usada con más frecuencia son las retrocruzas.

Los programas de mejoramiento genético dedicados a la producción de híbridos para su explotación comercial, se han enfocado a la recuperación o mejora de sus líneas o progenitores, para asegurar que tengan gran productividad y alta calidad agronómica.

Continuamente se hacen estudios sobre mejoramiento genético buscando identificar líneas con buenos atributos genéticos y que en combinaciones híbridas expresen su máxima heterosis.

Esta investigación partió de dos grupos de cruza de prueba, entre 71 líneas recicladas, cruzadas con el probador 1 (351-296-1-6-A) y 69 líneas recicladas, cruzadas con el probador 2 (MLS4-1), los probadores son contrastantes; uno pertenece a material enano de la región del Bajío Mexicano con la característica de mazorca larga, el otro probador pertenece a una línea de maíz tropical. Se evaluaron en dos ambientes diferentes en el año del 2011, con los siguientes:

OBJETIVOS

- Mediante un análisis de varianza, demostrar que existen diferencias entre las variables de las cruzas de pruebas evaluadas, con base en ello identificar líneas que generen híbridos precoces, de altura baja, con un alto valor en peso hectolitrico y rendidores, en cuanto a las localidades de evaluación, se discutirá el potencial de cada una para las diferentes variables evaluadas.
- Considerando el valor de F calculada del análisis de varianza se explorará el potencial de los probadores para cada una de las variables evaluadas.
- Auxiliados con el índice de selección, identificar las mejores combinaciones híbridas.

HIPOTESIS

- Al menos una línea y un probador tendrán mejores efectos genéticos.
- En las cruzas realizadas al menos una debe tener comportamiento superior a las demás.
- En lo que respecta al poder de discriminación, al menos un ambiente de evaluación será superior a otro.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Retrocruza

El método de retrocruza se ha utilizado ampliamente para: introducir diferentes dosis de germoplasma exótico e incrementar la frecuencia de genes favorables. **(Barrera *et al.* 2005)** Con la retrocruza se tiene las ventajas de asegurar una media de rendimiento alta.

Márquez S. (1990) demostró que las retrocruzas sucesivas ocasionan reducción gradual de la heterosis hasta llegar a cero, pero que en la generación RC1F2 la heterosis aún se mantiene en magnitud apreciable.

Vaca (1991). Demostró que resultados experimentales han demostrado que el método de retrocruza es un esquema eficiente para recobrar líneas de maíz con caracteres favorables.

Reciclaje de Líneas

La elección correcta de la fuente de germoplasma significa el 50 por ciento del éxito en un programa moderno de mejoramiento genético, dependiendo el otro 50 por ciento en el desarrollo eficiente de líneas para la formación de híbridos y sintéticos. **(Córdova H. et al. 2000).**

Dentro de un programa de hibridación, siempre existe un proceso de desarrollo de líneas, el cual no es únicamente para formar híbridos sino que también para crear nuevas fuentes de germoplasma que tengan una mayor utilidad. Se requiere de tiempo para formar nuevas bases de germoplasma de líneas que tengan alto nivel de comportamiento *per se* y buena habilidad combinatoria. Cuando ya exista este tipo de germoplasma, se debe considerar usar estos progenitores endocriados para crear nuevas fuentes de germoplasma con base en líneas, además también hay posibilidad de usar estas líneas para separar patrones heteróticos y formar nuevos grupos o reconstituir el mismo grupo con una base amplia de germoplasma. **(Vasal S. 1994).**

Todos los programas de obtención de maíces híbridos deben, en algún momento de su desarrollo, iniciar el reciclaje de las líneas endocriadas. Una

razón puede ser que haya un solo par de poblaciones heteróticas disponibles y que el programa no cuente con recursos para usar más poblaciones o también que haber una resistencia a usar germoplasma exótico. **(Paliwal R. 2001)**. El reciclaje proporciona un mecanismo para obtener líneas nuevas y mejoradas.

El reciclaje de líneas se puede realizar en varias maneras, pero siempre reciclamos dentro del mismo grupo heterótico, en este proceso es necesario crear fuentes de líneas F2 con base a cruza simples, e iniciar nuevamente una etapa de endocria para generar nuevas líneas. A veces se pueden usar también poblaciones retrocruzadas dentro del mismo grupo para el desarrollo de nuevas líneas. Es importante mencionar que durante la etapa de desarrollo de líneas, según la tolerancia a endocria de las poblaciones, se deberá iniciar un reciclaje de líneas a un nivel más temprano o cuando tengamos muchas líneas. **(Vasal et al 1994)**.

Probadores

Los cruzamientos de prueba en un programa de mejoramiento de maíz tienen dos objetivos:

1. evaluación del valor de cruzamiento de los genotipos para el mejoramiento de la población, y
2. evaluación de la habilidad combinatoria de las líneas puras para el desarrollo de híbridos.

Los probadores son utilizados para establecer modelos heteróticos, mejoramiento entre poblaciones, formación y mejoramiento de nuevos grupos heteróticos, evaluación de la habilidad combinatoria de las líneas e identificación de las combinaciones específicas de híbridos. **(Paliwal R. 2001)**.

El uso de probadores en la selección de líneas representa una estrategia metodológica alternativa en la generación de híbridos **(Sierra et al. 1991)**, ya que permite de una manera eficiente dirigir cruzamientos y lograr mejores combinaciones híbridas. **(Sierra et al 2000)**.

La mayor parte de los estudios relacionados con la elección de probadores apropiados se han enfocado a evaluar el potencial de rendimiento de líneas de maíz. Existen diferentes definiciones acerca de los probadores, en general sugieren el uso de líneas puras élite para evaluar aptitud combinatoria. **(De La Cruz L. et al. 2008)**.

(McLean et al. 1997) definen como probador aquel que clasifica correctamente el merito de los genotipos probados dentro de grupos heteróticos, de modo que diferencie efectivamente los genotipos evaluados, aumente la varianza y la ganancia genética.

Es necesario tener varios tipos de probadores bien definidos para poder separar nuevos materiales y líneas en diferentes grupos heteróticos para la introgresión de estas nuevas fuentes de germoplasma y buena manipulación en formación de híbridos más eficientes. **(Vasal S. et al. 1994)**. 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.

Importancia de Híbridos Simples

La producción de cultivares híbridos ha sido el objetivo primordial de los programas de mejoramiento, convencidos de los méritos de la heterosis, la uniformidad y los beneficios económicos de la producción de semillas híbridas. **(Malacarne M. et al. 2005)**.

El maíz híbrido (simple) se cultiva comercialmente en sitios donde el consumo de maíz tiene mucha salida. Son híbridos simples obtenidos con líneas suficientemente productivas como tales, con lo que el coste de la semilla no es tan elevado. **(Ramírez L. 2006).**

Un híbrido de cruza simple, tiene mayor potencial de rendimiento que un híbrido trilineal. **(Sierra M. et al. 2006).**

La máxima expresión de la heterosis (vigor híbrido) se manifiesta en el híbrido simple, también se obtiene mayor uniformidad del híbrido resultante. **(Bejarano 2007).**

Gómez et al. (2008) consideran que una forma de lograr altos rendimientos es a través de la siembra de híbridos, los cuales se caracterizan por la estabilidad de rendimiento en ambientes favorable, una mayor uniformidad y sanidad de planta y mazorca.

Grupos Heteróticos

El término de grupo heterótico se aplica a un conjunto de individuos que exhiben similar habilidad combinatoria y respuesta heterótica al ser cruzados con otros grupos germoplásmicos genéticamente diferentes. **(De León H. et al 2003).**

Para facilitar el uso de la heterosis y predecir el comportamiento de los híbridos es necesario el establecimiento y uso de grupos heteróticos. Ha sido necesario porque no se ha podido correlacionar suficientemente el comportamiento de las líneas *per se* con el comportamiento de la progenie híbrida para caracteres agronómicos, principalmente rendimiento **(Hallauer, 2000).**

(González et al. 1997) comentaron que a través del tiempo se han identificado y definido claramente grupos heteróticos, entre los que se encuentran aquellos que poseen características contrastantes.

La clasificación de las líneas dentro de grupos heteróticos es esencial para determinar el potencial y utilidad de dichas líneas en el desarrollo de híbridos o sintéticos **(Menkir et al., 2003)**.

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

Índice de Selección

El objetivo principal del índice de selección, es maximizar el promedio del valor génico de una población. **(Tucuch C. et al 2011)**.

En la actualidad existen varios métodos para el mejoramiento genético simultáneo de varios caracteres, y los tres de mayor importancia son: selección en tándem, selección simultánea de caracteres independientes e índice de selección **(Cerón y Sahagún 2005)**. Los índices de selección permiten separar genotipos con base en la evaluación simultánea de varios caracteres.

Índice de selección, mediante este tipo de selección se pondera cada característica (su valor fenotípico estandarizado) por su valor económico relativo. Los valores obtenidos para cada característica son sumados y obtengo un número que es el índice de Selección y seleccionamos los individuos que arrojaron los valores mayores para este índice. El índice de selección es el más simple pudiendo incluirse en la fórmula las heredabilidades de las características y las correlaciones genéticas entre ellas.

Un índice de selección toma en consideración además de los aspectos genéticos, la importancia económica de las características involucradas está conformado esencialmente por dos ecuaciones; la primera, es aquella en la cual se incluyen las características que se desea mejorar, la segunda se constituye con las características sobre aquellas que se hace la selección, las cuales se denominan criterios de selección. **(Yañes L. 2005)**.

Por otra parte, **(Restrepo et al. 2008)** definen el índice de selección como un método de puntaje total en el cual se desarrolla una ecuación que da valores óptimos a la importancia económica de cada característica, de manera que permite separar genotipos con base en la evaluación simultanea de varios caracteres y estableciendo niveles mínimos de aceptación y el descarte de los individuos que estén por debajo de ellos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Material Genético

Esta investigación partió de dos grupos de cruza de prueba, entre 71 líneas recicladas, cruzadas con el probador 1 (351-296-1-6-A) y 69 líneas recicladas, cruzadas con el probador 2 (MLS4-1), los probadores son contrastantes; uno pertenece a material enano de la región del Bajío Mexicano con la característica de mazorca larga, el otro probador pertenece a una línea de maíz tropical, que se describen en el cuadro 3.1 y en el cuadro 3,2 respectivamente.

Cuadro 3.1 Genealogía de las líneas recicladas provenientes de cruzas simples directas y retrocruza 1, las cuales se cruzaron con el probador 1 (351-296-1-6-A).

((M13xPE-115-3-1-10) x M13)-13	(PE-112-3 X PE-112-7)-A-A-5	(24 X 26)
((M13xPE-115-3-1-10) x M13)-17	(PE-203-2 X LBCPC4S4)-4-A	(E-174 X E-94)-A-A-2
((M13xPE-115-3-1-11) x M13)-10	(PE-203-2xPE-105-1)-1-A-7-3-5-A	((M7xE-197) x M7)-17
((M13xPE-115-3-1-11) x M13)-4	C.B.85H.C.S.V524-4119HC-1-1-5-1	(M13 x 232-10-11-1-A)-10
((M13xPE-115-3-1-3) x M13)-10	((M31xE-197) x E-197-6)-9	(M15 x CML-11-3)-1
((M13xPE-115-3-1-3) x M13)-15	((M41xPE-115-3-1-3) x PE-115-3-1-3)-14	(M15 x E-195-5)-13
((M31xE-197) x E-197-6)-7	(LEOPRECOZxPN-308-1)-24-A-A	((M7xV524) x M7)-8
((M16xE-195) x M16)-3	(M42 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-7)-14	(M16 x LBCPC4S4-3)-15
((M16xE-197) x E-197-6)-8	(M16 x (PE-203-2xPE-105-1)-1-A-7-3-5)-3	(M27 x 232-10-11-1-A)-5
((M16xPE-115-3-1-3) x M16)-11	((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-15	(M27 x 232-10-11-1-A)-7
((M16xPE-115-3-1-3) x M16)-14	((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-16	(M35 x 351-296-1-6-A)-10
((M16xPE-115-3-1-3) x M16)-15	(PE-106-8xLBCPC4S4)-2-A-2-2-A-A	((M9xE-197) x E-197-6)-5
((M16xPE-115-3-1-3) x M16)-19	((M13xV524-4119HC-43-3-2-4) x V524-4119HC-43-3-2-4-1)-1	(M47 x 232-10-11-1-A)-14
((M1xE-197) x E-197-6)-6	(M47 x 351-296-1-6-A)-13	LE-30-7-A
((M22xPE-115-3-1-10) x M22)-11	(M7 x 351-296-1-6-A)-7	LE-7-1-A-A
((M22xPE-115-3-1-10) x M22)-16	(M7 x 43-46-2-3-2)-1	PEEC1-24
((M22xPE-115-3-1-10) x M22)-18	(M7 x 43-46-2-3-2)-13	PEEC1--5
((M22xPE-115-3-1-10) x M22)-5	(M7 x 43-46-2-3-2)-15	PEGC1-61
((M22xPE-115-3-1-10) x M22)-6	(PE-104-6 X PE-203-2)-3-A	S3-28-3
((M22xPE-115-3-1-10) x M22)-8	((M7xE-197) x M7)-5	((M31xE-197) x E-197-6)-5
((M27xE-197) x E-197-6)-17	((M29xE-197) x E-197-6)-1	T1
((M27xE-197) x E-197-6)-5	((M29xE-197) x M29)-11	T2
((M27xE-197) x M27)-12	((M29xE-197) x M29)-8	T3
((M27xE-197) x M27)-14	LE-30-3-A-A	T4
((M27xE-197) x M27)-4	LE-30-7-A	T5
((M29xE-197) x E-197-6)-1		T6

Cuadro 3.2 Genealogía de las líneas recicladas provenientes de cruzas simples directas las cuales se cruzaron con el probador 2 (MLS4-1)

(M13 x 232-10-11-1-A)-18	(M35 x 351-296-1-6-A)-20	(M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-13	(M7 x 43-46-2-3-2)-6
(M13 x 232-10-11-1-A)-4	(M35 x 351-296-1-6-A)-5	(M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-15	(M7 x 43-46-2-3-2)-7
(M13 x 43-46-2-3-2)-11	(M35 x 351-296-1-6-A)-8	(M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-18	(M7 x 43-46-2-3-2)-9
(M13 x 43-46-2-3-2)-12	(M13 x 43-46-2-3-2)-10	(M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-19	(M42 x E-195-3)-16
(M13 x 43-46-2-3-2)-7	(M13 x 43-46-2-3-2)-18	(M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-8	(M42 x E-195-3)-17
(M15 x CML-11-3)-11	(M15 x CML-11-3)-18	(M42 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-7)-1	(M15 x E-195-5)-6
(M15 x CML-11-3)-13	(M7 x 351-296-1-6-A)-7	(M42 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-7)-10	(M7 x 43-46-2-3-2)-1
(M15 x CML-11-3)-14	(M7 x 351-296-1-6-A)-18	(M42 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-7)-18	(M7 x 43-46-2-3-2)-11
(M15 x CML-11-3)-15	(M7 x 351-296-1-6-A)-8	(M42 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-7)-5	(M7 x 43-46-2-3-2)-3
(M15 x CML-11-3)-16	(M7 x 351-296-1-6-A)-9	(M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-17	T1
(M15 x CML-11-3)-20	(M35 x 351-296-1-6-A)-13	(M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-2	T2
(M15 x E-195-5)-12	(M47 x 351-296-1-6-A)-1	(M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-3	T3
(M15 x E-195-5)-18	(M47 x 351-296-1-6-A)-19	(M35 x 351-296-1-6-A)-18	T4
(M15 x E-195-5)-2	(M47 x 351-296-1-6-A)-8	(M35 x 351-296-1-6-A)-2	T5
(M15 x E-195-5)-7	(M7 x 351-296-1-6-A)-13	(M42 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-7)-19	T6
(M7 x 43-46-2-3-2)-11	(M7 x 351-296-1-6-A)-14	(M42 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-7)-4	T7
(M7 x 43-46-2-3-2)-2	(M7 x 351-296-1-6-A)-16	(M42 x E-195-3)-12	T8
(M7 x 43-46-2-3-2)-4	(M7 x 351-296-1-6-A)-4	(M42 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-7)-6	
(M7 x 43-46-2-3-2)-8	(M7 x 351-296-1-6-A)-5	(M42 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-7)-7	
(M13 x 43-46-2-3-2)-1	(M7 x 351-296-1-6-A)-6	(M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-9	

Descripción de los Ambientes de Evaluación

En el Cuadro 3.3 se describen las principales características de cada uno de los ambientes que se utilizó en este estudio para valuación de los materiales, que se llevaron acabo en el ciclo primavera-verano del 2011 en el estado de Nuevo, León e Hidalgo.

Cuadro 3.3 Principales características geográficas y ambientales de las localidades donde se establecieron los lotes de evaluación.

Localidad	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altura (msnm)	Temp. Media Anual °C	Precipitación Pluvial (mm)
Tlahuelilpan Hgo.	20°06'	99°09'	2100	15	550
El Prado N. L.	24°12'	100°05'	1890	18	300

Fuente: INEGI 2012

Descripción de la Parcela Experimental y Fechas de Siembra

La siembra se realizó en forma manual, bajo un diseño de bloques al azar mediante un arreglo alfa-látice con dos repeticiones por localidad.

La parcela experimental consistió en un surco de cinco metros de longitud y 0.90 metros de ancho entre surcos en ambas localidades (Tlahuelilpan, Hgo., y El Prado N. L.), teniendo 35 plantas por surco.

La fecha de siembra de los materiales en El Prado N. L., fue el 31 de marzo del 2011, siendo el 28 de abril del 2011 para la localidad de Tlahuelilpan Hgo.,

Labores Culturales

Fertilización. La dosis de fertilización que se aplicó durante el ciclo vegetativo fue 80-80-80 kg/h⁻¹ de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente, todo el fósforo, potasio y el 50% de nitrógeno se aplicaron al momento de la siembra, el resto del nitrógeno se aplicó al primer cultivo.

Riegos. Fueron variables y estuvieron sujetos a la humedad disponible en cada ambiente de evaluación, el único común fue a la siembra.

Control de malezas. En todos los ambientes de evaluación se controló la maleza con un herbicida preemergente y durante el desarrollo fenológico del cultivo, cuando fue necesario se aplicó un herbicida postemergente.

Cosecha. Se cosechó por parcela útil, en forma manual para posteriormente registrar el peso de campo y contenido de humedad.

Variables Agronómicas Evaluadas

En cada una de las parcelas se midieron las siguientes variables agronómicas:

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

Altura de planta (AP): Es la distancia en metros desde la base de la planta hasta la hoja bandera.

Altura de mazorca (AM): Es la distancia en metros desde la base de la planta hasta el nudo de inserción de la mazorca principal.

Acame de raíz (AR): Es el porcentaje de plantas acamadas por parcela, considerando aquellas que presentan una inclinación mayor de 30° con respecto a la vertical.

Mala cobertura (MC). Es el por ciento de plantas cuya mazorca no se encontró cubierta totalmente por el totomoxtle (brácteas) en relación con el total de las mazorcas cosechadas en cada parcela.

Plantas con *Fusarium spp.* (PF): Por ciento de plantas que se observaron total o parcialmente dañadas por este hongo en cada parcela, con respecto al total de las plantas establecidas.

Calificación de planta (CP): Es el valor que se le asigna en base a una escala (1 a 5) que se le da al fenotipo de las plantas en la parcela útil donde se califica tipo de planta, sanidad, disposición de las hojas, 1 es muy buena y 5 muy mala.

Peso de campo (PC). Es el peso total de mazorcas por parcela experimental con la humedad existente al momento en que se realiza la cosecha. Su valor se expresa en kilogramos (Kg.).

Por ciento de humedad de grano (%H). Se obtiene tomando una muestra aleatoria de 100 g, de las mazorcas en cada parcela y se obtiene el por ciento

de humedad usando el aparato Dickey John, esta medición se hace al momento de la cosecha.

Calificación de mazorca (CM): Es una calificación visual de las mazorcas cosechadas por parcela útil que considera el llenado de grano, sanidad, tamaño y uniformidad. La escala es de 1 a 5 (1 muy buena, 5 muy mala).

Rendimiento (REND). Es la producción estimada por parcela experimental reportada en t /ha⁻¹ de mazorcas al 15.5 % de humedad. Éste se obtuvo al multiplicar el peso seco (PS) por el factor de conversión (FC).

Donde:

% H = porcentaje de humedad del grano a la cosecha por parcela; PC = peso de campo en kg.

$$FC = \frac{10,000}{APU * 0.845 * 1,000}$$

Donde:

FC = factor de corrección para expresar el rendimiento en toneladas por hectárea.

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

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

1000 = constante para obtener el rendimiento en $t\ ha^{-1}$.

10,000 = valor correspondiente a la superficie de una hectárea en m^2 .

Peso Hectolitrico (HL) representa el peso del grano contenido en un recipiente de 100 litros es muy importante para la comercialización de granos, ya que esta traduce la cantidad de materia seca de grano que hay en un volumen determinado.

Análisis de Varianza de 12 Variables Agronómicas

Se realizó un análisis de varianza combinado a través de localidades considerando 12 variables bajo evaluación, empleando el siguiente diseño estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + R_{j(i)} + T_k + TL_{ki} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = valor del IS de la i-ésima localidad de la j-ésima repetición del k-ésimo genotipo; μ = media general; L_i = efecto de la i-ésima localidad; $R_{j(i)}$ = efecto de la j-ésima repetición dentro de la i-ésima localidad; T_k = efecto del k-ésimo genotipo; $TL_{k(i)}$ = efecto del k-ésimo tratamiento por la i-ésima localidad; ε_{ijk} = efecto del error.

Índice de Selección

La efectividad en el proceso de selección y su continuidad en el tiempo va a depender de las herramientas que se utilicen para conseguirlo. Anteriormente una de las características que buscaban los mejoradores era el rendimiento, hoy en día son más las variables de suma importancia que se busca para obtener materiales con un mejor comportamiento.

Es por eso que en esta investigación se consideraron varios caracteres (días a floración hembra, altura de mazorca y rendimiento) a la vez para tener una mayor respuesta en la selección de germoplasma en estudio. Tomando en cuenta lo anterior, se utilizó el método de índices de selección (IS) el cual se basa en la selección simultánea de varios caracteres, desarrollado por Barreto *et al.* (1991).

A continuación se describe la fórmula usada en la metodología desarrollada por Barreto *et al.* (1991).

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

Donde:

IS = índice de selección; $Y_{i..n}$ = es el valor de las características en unidades Z; $M_{i..n}$ = es la meta de selección (definida por el usuario); $I_{i..n}$ = es la intensidad de selección (definido por el usuario) para las características $j_{i..n}$.

Al momento de correr los datos, las unidades en que están representadas las variables deben estar estandarizadas para que estas puedan combinarse entre sí, ya que están representadas en unidades distintas (días, kg, ha⁻¹, ton), por lo que se estandarizaron mediante la fórmula de valor Z que a continuación se describe:

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

Donde:

Z = e el valor estandarizado; Y_j = es el valor para la entrada j ; \bar{Y} = es el promedio de todas las entradas; S = es la desviación estándar del grupo de entradas.

Continuando con la descripción de las formulas tenemos que:

La meta de selección: se considera como lo que el mejorador desea lograr con la selección en base a las desviaciones estándar, en el programa solo se puede tomar un valor que va desde -3 a +3 que corresponde a un 99 por ciento dentro de una distribución normal. Los valores positivos seleccionan los genotipos que se encuentran por arriba del promedio de la población (en este caso para la variable HL), por su lado los valores negativos seleccionan los genotipos que se encuentran por debajo de la media (en este caso para las variables HUM y FM).

La intensidad de selección: mediante la intensidad le otorgamos importancia a las variables de acuerdo al interés, y esta puede ser diferente para cada variable, tomando valores que van de 0 a 10 y mientras mas grande sea el valor mayor peso se le da a la variable en la selección, o en su caso si se usa un valor de cero es porque el usuario no quiere que esa variable sea

considerada y por lo tanto el programa no lo toma en cuenta al correr los datos. Por otra parte para el siguiente trabajo se tomaron en cuenta los valores, más cercanos a 0 que fueron 1, 2 y 3 para las variables de humedad, peso hectolitrico y calificación de mazorca respectivamente, esto con el fin de tener los valores de índices de selección más cercanos al modelo o con valores más bajos.

El criterio que se tomo en este experimento, para que no hubiera sesgos en los resultados de IS, se determino utilizar los mismos valores para las intensidades de las variables en las dos localidades con sus dos repeticiones las que se definieron en base a la importancia que tiene cada variable en las localidades evaluadas.

Para **Barreto (1991)** el índice de selección mas bajo representa que el genotipo contiene las características que él está buscando o que se acerca mucho a este. Por el contrario entre mas grande sea el valor del índice de selección, significa que el genotipo es todo lo contrario de lo que buscamos. El mejor genotipo es aquel que tiene el valor más pequeño del índice.

Para calcular los IS, este se realizó por repetición y por localidad, tomando en cuenta los datos de las variables días a floración hembra, altura de

mazorca y rendimiento ya que son de mayor importancia en las dos localidades de estudio. Esto con el objetivo de realizar un análisis de varianza combinado y por localidad para hacer un comparativo de los datos y con base en ello determinar el siguiente paso a seguir.

Una vez obtenido el IS por repetición, con el propósito de saber cual genotipo fue el de mejor comportamiento estadístico con base en los valores al merito del IS a través de localidades, por localidad, y repeticiones, se realizó un análisis de varianza mediante un diseño de bloques completos al azar a través de localidades.

Criterios de Selección

Con la finalidad de seleccionar híbridos que tengan buenas características agronómicas, las variables se integraron en un IS. Por lo tanto un material seleccionado debe poseer un IS bajo además de ser estable.

Se realizó un análisis de varianza con base a sus índices de selección restándole a la media dos veces el error estándar para obtener un 95% de significancia y así elegir a los mejores cinco híbridos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En base a los objetivos planteados en el presente trabajo, a continuación se presentan resultados obtenidos del análisis de varianza del probador 1 (351-296-1-6-A) los cuales se concentran en el cuadro 4.1 correspondientes a dos ambientes para las variables estudiadas.

Donde se puede observar que para la fuente de variación localidad hubo diferencias altamente significativas a ($P \leq 0.01$) para las variables días a floración macho y hembra, altura de planta, altura de mazorca, acame de raíz, calificación de mazorca, prolificidad y rendimiento, estas diferencias son atribuidas a que las localidades de evaluación no presentaron las mismas condiciones climáticas, edáficas, de ubicación geográfica y de manejo, conociendo su comportamiento a través de las condiciones de cada localidad, solo la variable kg/hl mostró diferencia significativa a ($P \leq 0.05$), siendo no significativas para mala cobertura y calificación de planta, esto último puede estar asociado con la estabilidad de estas dos variables.

Cuadro 4.1 Análisis de varianza para 12 variables a evaluar del probador 1 (351-296-1-6-A) evaluado en dos ambientes durante el 2011

FV	GL	DFM	DFH	ALT PTA	ALT MAZ	AC RAÍZ	MAL COB	PTAS FUS	CAL PTA	CAL MZCA	PROL	REND	KG/HL
Loc	1	15116,2 **	19416,2 **	161559,4 **	110470,2 **	3702 **	16,18	0,95	0,82	18,86 **	33964,5 **	19,7 **	159,27 *
Rep(Loc)	2	9864,83 **	10052,7 **	3948,23 **	63,43	3279,1 **	705,9 **	33,35 **	0,03	13,04 **	3442,34 **	0,73	1490,2 **
Trat	71	60,39	140,34	640,69	509,84	130,56	36,92	5,46	0,62 **	0,64	648,23	1,9 *	42,61 *
Trat*Loc	35	59,52	138,08	657,87	484	118,38	36,99	6,94	0,69	0,54	424,26	1,11	26,16
EE	157	45,56	148,5	514,03	422,95	105,73	32,86	6,16	0,45	0,58	496,13	1,09	27,74
CV		6,03	10,73	11,23	19,55	166,39	175,4	371,4	20,1	24,29	21,23	15,6	7,71
Media		111,9	113,47	201,78	105,15	6,17	3,2	0,66	3,36	3,14	104,91	6,7	68,24

**Diferencia altamente significativa a ($P \leq 0.01$), *diferencia significativa a ($P \leq 0.05$), fuente de variación (FV), localidad (Loc), repetición dentro de Localidad (Rep(Loc)), tratamientos (Trat), tratamientos por localidad (Trat*Loc), error experimental (EE), coeficiente de variación (CV), grados de libertad (GL), días a floración macho (DFM) y hembra (DFH), altura de planta (ALPTA), altura de mazorca (ALMZCA), acame de raíz (ACRAIZ), mala cobertura (MALCOB), plantas con fusarium (PTASFUS), calificación de planta (CALPTA), calificación de mazorca (CALMZCA), prolificidad (PROL), rendimiento (REND) y peso en kilogramos sobre hectolitro (KG/HL).

Para las variables DFM y DFH la mejor localidad fue Tlahuelilpan Hgo., ya que el material presentó mayor precocidad teniendo como resultado una floración más temprana.

En lo que respecta las variables altura de planta y de mazorca, fue en la localidad de El Prado N. L., donde se observó menor altura de planta y mazorca, esto es debido a las diferencias climáticas, edáficas, de ubicación geográfica y de manejo de las localidades.

La localidad de Tlahuelilpan Hgo., demostró menor incidencia en relación a la variable ACRAIZ, esto debido a las características de los materiales que expresan mayor número de raíces lo cual evita el acame.

Respecto a las variables MALCOB, PTASFUS y CALPTA no son significativamente diferentes.

Para la variable CALMZCA, la localidad de Tlahuelilpan Hgo., fue la que presentó mazorcas más desarrolladas, esto puede ser debido principalmente a las condiciones climáticas como es la humedad relativa principalmente que es un factor importante para las pudriciones y mal aspecto de las mazorcas.

La variable PROLIFICIDAD se contrasto de mejor manera en Tlahuelilpan Hgo., este puede ser debido a los factores climáticos que influenciaron para el desarrollo de los materiales, además del germoplasma del material.

En cuanto a la variable REND la localidad de Tlahuelilpan Hgo., sobrepaso a la localidad de El Prado N. L., las condiciones climáticas, edáficas, ubicación y manejo le favorecieron a los materiales lo cual indica su adaptabilidad en esta localidad, por lo anterior la variable Kg/Hl se vio mas reflejada en esta localidad de estudio.

Respecto a la fuente de variación repetición dentro de localidad mostró diferencias altamente significativas a ($P \leq 0.01$) para las variables días a floración macho y hembra, altura de planta, acame de raíz, mala cobertura, plantas con fusarium, calificación de mazorca, prolificidad y kg/hl, se comportan diferente en cada repetición dentro de localidad de evaluación, mientras que las variables altura de mazorca, calificación de planta y rendimiento no mostraron diferencia significativa, por lo tanto se consideran que aquí las repeticiones no mostraron diferencias en la clasificación de esas variables.

Cuadro 4.2 Comportamiento promedio de las variables evaluadas por localidad para el probador 1 (351-296-1-6-A) durante el 2012

LOCALIDAD	DFM	DFH	AL PTA	AL MZCA	AC RAÍZ	MAL COB	PTAS FUS	CAL PTA	CAL MZCA	PROL	REND	Kg/HL
El Prado N. L.	118.96 A	121.49 A	178.88 B	86.16 B	9.6 A	3.48 A	0.61 A	3.42 A	3.39 A	94.3 B	3.83 B	67.56 B
Tlahuelilpan Hgo.	104.88 B	105.51 B	224.55 A	124.03 A	2.79 B	3.06 A	0.72 A	3.32 A	2.9 B	115.47 A	6.65 A	68.93 A

Localidad (LOC), días a floración macho (DFM) y hembra (DFH), altura de planta (ALPTA), altura de mazorca (ALMZCA), acame de raíz (ACRAIZ), mala cobertura (MALCOB), plantas con fusarium (PTASFUS), calificación de planta (CALPTA), calificación de mazorca (CALMZCA), prolificidad (PROL), rendimiento (REND) y peso en kilogramos sobre hectolitro (KG/HL).

La fuente de variación tratamiento solo demostró diferencias altamente significativas a ($P \leq 0.01$) para la variable calificación planta, siendo significativas a ($P \leq 0.05$) las variables rendimiento y kg/hl, esto se puede deber a que influye el germoplasma de cada materia, las demás variables no mostraron diferencias significativas lo cual nos indica que los materiales se comportan de manera similar.

Las diferencias significativas dan a entender que existe una gran variación en la constitución genética de los progenitores y ello permita que al cruzar dos líneas altamente contrastantes originen híbridos con capacidad heterotica. Al no haber diferencias en la mayoría de las variables se puede decir que este probador no es contrastante y no es de gran interés para el mejorador.

Para la fuente de variación tratamiento x localidad ninguna variable muestra diferencia significativa, lo cual dice que su comportamiento es igual entre localidades y por lo tanto hay estabilidad, esto quiere decir que los genotipos en evaluación tuvieron la suficiente capacidad genética para amortiguar las diferencias ambientales.

En cuanto a la discriminación de líneas solo se van a mostrar las líneas que fueron superiores en las variables que mostraron diferencias significativas en tratamientos, las cuales fueron calificación mazorca, rendimiento y peso hectolitrico, las líneas que sobresalieron son las siguientes:

Para calificación de mazorca: (M7 x 351-296-1-6-A)-7, (PE-112-3 X PE-112-7)-A-A-5, LE-30-7-A, ((M22xPE-115-3-1-10) x M22)-5 y ((M22xPE-115-3-1-10) x M22)-16. Para rendimiento: ((M22xPE-115-3-1-10) x M22)-16, LE-30-3-A-A, PEEC1-24, LE-7-1-A-A y (M15 x CML-11-3)-1. Para Kg/Hl: ((M13xPE-115-3-1-

11) x M13)-4, (M16 x LBCPC4S4-3)-15, ((M16xE-195) x M16)-3, ((M22xPE-115-3-1-10) x M22)-8 y ((M31xE-197) x E-197-6)-7.

Los resultados obtenidos del análisis de varianza para el probador 2 (MLS4-1). Se resumen en el cuadro 4.3 correspondientes a dos ambientes para las variables agronómicas evaluadas.

La fuente de variación localidad mostró diferencias significativas a ($P \leq 0.05$) para las variables MALCOB, Y PTASFUS, las demás variables presentaron diferencias significativas a ($P \leq 0.01$). Estas diferencias son atribuidas a que las condiciones climáticas, edáficas, de ubicación geográfica y de manejo fueron diferentes en las localidades de evaluación.

Para las variables DFM y DFH, fue la localidad de Tlahuelilpan Hgo., donde los genotipos presentaron menor días a floración, esto puede ser debido a las condiciones climáticas y de ubicación geográfica de la región.

Respecto a las variables ALPTA Y ALMZCA la localidad de El Prado N. L., presentó plantas más bajas debido a los factores ambientales como el clima,

la ubicación geográfica y manejo, favoreciendo a los materiales en dicha localidad.

En lo que respecta a la variable ACRAIZ, la localidad donde se presentó la menor incidencia fue Tlahuelilpan Hgo., esto puede ser debido a que las condiciones ambientales favorecieron o que los genotipos tienen características genéticas para buen sistema radicular y así tener cierta resistencia o tolerancia al acame.

Respecto a la variable MALCOB la localidad de Tlahuelilpan Hgo., fue quien presentó menor incidencia, esto debido a condiciones ambientales y al manejo a las que estuvieron expuestos los materiales en dicha localidad, favoreciendo su desarrollo.

Para la variable PTASFUS la localidad de El Prado N. L., fue la que presentó menor incidencia al patógeno, esto debido a que las condiciones principalmente humedad relativa, climáticas, edáficas, de ubicación geográfica y de manejo a las que se expresaban los materiales no le favorecieron a este hongo para desarrollarse y propagarse en su totalidad, favoreciendo a los materiales.

Cuadro 4.3 Análisis de varianza para 12 variables a evaluar del probador 2 (MLS4-1). Evaluado en dos ambientes durante el 2011

FV	GL	DFM	DFH	ALTPTA	ALTMAZ	AC RAÍZ	MAL COB	PTAS FUS	CAL PTA	CAL MZCA	PROL	REND	KG/HL
Loc	1	15962,7 **	33537,4 **	188240,1 **	149234 **	6677,6 **	171,9 *	452,01 *	10,3 **	8,63 **	4143,5 **	535,4 **	693,4 **
Rep(Loc)	2	7484,22 **	3996,75 **	17009,82 **	400,87	5919 **	926,6 **	2909,5 **	3,32 **	18,6 **	4939,6 **	164,7 **	408,7 **
Trat	76	28,51	21,63 **	895,05 *	682,91 **	174,69	28,76	102,98	1,02 **	0,78 **	555,01 **	6,28 **	19,66
Trat*Loc	76	27,57	9,95	751,81	239,98	168,01	19,63	104,34	1,02	0,47	344,77	4,19	11,54
EE	150	25,5	11,05	634,98	291,81	135,19	26,25	102,12	0,46	0,42	317,22	3,23	26,98
CV		4,77	3,19	11,75	14,76	185,47	148,9	226,72	21	21,1	17,48	24,33	7,27
Media		105,8	104,19	214,36	115,66	6,26	3,44	4,45	3,26	3,09	101,85	7,38	71,42

**Diferencia altamente significativa a ($P \leq 0.01$), *diferencia significativa a ($P \leq 0.05$), fuente de variación (FV), localidad (Loc), repetición dentro de Localidad (Rep(Loc)), tratamientos (Trat), tratamientos por localidad (Trat*Loc), error experimental (EE), coeficiente de variación (CV), grados de libertad (GL), días a floración macho (DFM) y hembra (DFH), altura de planta (ALPTA), altura de mazorca (ALMZCA), acame de raíz (ACRAIZ), mala cobertura (MALCOB), plantas con fusarium (PTASFUS), calificación de planta (CALPTA), calificación de mazorca (CALMZCA), prolificidad (PROL), rendimiento (REND) y peso en kilogramos sobre hectolitro (KG/HL).

La calificación de planta es principalmente afectada por las enfermedades foliares, como lo son las royas que se presentan principalmente en lugares con alta humedad relativa como lo es la localidad de Tlahuelilpan Hgo., no presentando esta característica El Prado N. L., fue por eso que CALPTA Y CALMZCA es mejor en El Prado N. L.

Respecto a las variables PROL y REND la localidad de Tlahuelilpan Hgo., fue la más favorable, esto se debe a las condiciones climáticas, edáficas, de ubicación geográfica y de manejo, los materiales al no estar expuestos a estrés hídrico, con presencia de plagas, enfermedades y maleza, se pueden explotar al máximo y obtener como resultado un mayor rendimiento.

Para la variable Kg/Hl no hay diferencia y el comportamiento entre localidades fue similar.

Respecto a la fuente de variación repetición dentro de localidad mostró diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para la mayoría de las variables, a excepción de ALMZCA la cual no mostró diferencia significativa, esto indica que el diseño estadístico utilizado fue el correcto porque permitió observar diferencias sustrayendo efectos de error para esta fuente de variación.

En la fuente de variación tratamientos se observa diferencias significativas ($p \leq 0.01$) para las variables DFH, ALMZCA, CALPTA, CALMZCA, PROL Y REND, y diferencias significativas a ($P \leq 0.05$) para ALTPTA, esto indica que los materiales se expresan de manera diferente, debido principalmente a su fondo genético, esto es importante porque facilita la selección, no siendo así para las otras variables las cuales no presentaron diferencias significativas.

Cuadro 4.4 Comportamiento promedio de las variables evaluadas por localidad para el probador 2 (MLS4-1) en dos ambientes en el 2011.

LOCALIDAD	DFM	DFH	AL PTA	AL MZCA	AC RAIZ	MAL COB	PTAS FUS	CAL PTA	CAL MZCA	PROL	REND	KG/HL
El Prado N. L.	113,124 A	114,758 A	189,261 B	93,333 B	11,012 A	4,234 A	3,191 B	3,444 A	3,268 A	98,310 B	5,968 B	72,006 A
Tlahuelilpan Hgo.	98,484 B	94,641 B	238,523 A	136,889 A	1,689 B	2,758 B	5,854 A	3,078 B	2,935 B	105,361 A	8,709 A	71,119 A

Localidad (LOC), días a floración macho (DFM) y hembra (DFH), altura de planta (ALPTA), altura de mazorca (ALMZCA), acame de raíz (ACRAIZ), mala cobertura (MALCOB), plantas con fusarium (PTASFUS), calificación de planta (CALPTA), calificación de mazorca (CALMZCA), prolificidad (PROL), rendimiento (REND) y peso en kilogramos sobre hectolitro (KG/HL).

La fuente de variación tratamiento X localidad ninguna variable mostró diferencias significativas lo cual dice que hay estabilidad entre genotipos, lo cual dice que su comportamiento es igual entre localidades y por lo tanto hay estabilidad, esto quiere decir que los genotipos en evaluación tuvieron la suficiente capacidad genética para amortiguar las diferencias ambientales.

En cuanto a la discriminación de líneas solo se muestran aquellas variables que mostraron diferencias significativas en tratamientos, las cuales fueron días a floración hembra, altura de mazorca, calificación planta, calificación mazorca, y rendimiento, las líneas que sobresalieron son las siguientes:

Para días a floración hembra: (M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-13, (M35 x 351-296-1-6-A)-13, (M15 x E-195-5)-6, (M15 x CML-11-3)-14 y (M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-15. Para altura de mazorca: (M35 x 351-296-1-6-A)-5, (M7 x 351-296-1-6-A)-14, (M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-15, (M7 x 351-296-1-6-A)-13 y (M7 x 351-296-1-6-A)-5. Para calificación planta: (M7 x 351-296-1-6-A)-9, (M13 x 43-46-2-3-2)-18, (M13 x 43-46-2-3-2)-7, (M7 x 43-46-2-3-2)-4 y (M42 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-7)-4. Para calificación mazorca: (M7 x 43-46-2-3-2)-4, (M47 x 351-296-1-6-A)-8, (M15 x E-195-5)-2 y (M7 x 351-296-1-6-A)-4. Para rendimiento: (M15 x E-195-5)-12, (M15 x CML-11-3)-11, (M15 x E-195-5)-2, (M7 x 43-46-2-3-2)-2 y (M15 x E-195-5)-7.

Los probadores utilizados en este trabajo de investigación expresaron diferente comportamiento, por lo cual, se decidió compararlos por su habilidad para diferenciar líneas empleando como criterio de discriminación el valor de F calculada por cada uno de los probadores, ya que, la importancia de un probador radica en su poder de discriminación, los valores obtenidos se presentan en el cuadro 4.5.

Para las variables DFM, MALCOB, PTASFUS, REND y KHL, el probador número uno (351-296-1-6-A) fue el mejor, ya que presenta mayores valores de F y estos están asociados al poder de discriminación en las variables antes mencionadas.

En lo que respecta a las variables DFH, ALTPTA, ALTMZCA, ACRAIZ, CALPTA, CALMZCA y PROL, el probador número dos (MLS4-1) fue el que presentó mayor discriminación, por lo tanto, fue el mejor probador y se expresa en el resumen del cuadro 4.5.

Cuadro 4.5 Comprobación entre probadores por medio de los valores de F calculada como criterio de discriminación.

RESUMEN DE LOS VALORES DE F PARA TRATAMIENTO POR PROBADOR		
	PROBADOR 1 (351-296-1-6-A).	PROBADOR 2 (MLS4-1).
DFM	1.33	1.12
DFH	0.95	1.96
ALTPTA	1.25	1.41
ALTMZCA	1.21	2.34
ACRAIZ	1.23	1.29
MALCOB	1.12	1.1
PTASFUS	0.89	1.01
CALPTA	1.38	2.19
CALMZCA	1.11	1.85
PROL	1.31	1.75
REND	1.92	1.7
KHL	1.54	0.73

DFM = Floración macho (días), DFH = Floración hembra, ALTPTA = Altura planta (cm), ALTMZCA = Altura mazorca (cm), ACRAIZ = Acame raíz, MALCOB = Mala cobertura, PTASFUS = Plantas con fusarium, CALPTA = Calificación planta (1-5), CALMZCA = Calificación mazorca (1-5), PROL = Prolifidad, REND = Rendimiento (t ha⁻¹), KHL = Peso hectolitrico.

Una vez obtenida la diferencia entre probadores se procedió a realizar un análisis de índice de selección. Al existir diferencias en los híbridos, es necesario generar un mecanismo para la identificación y selección de los mejores. El IS representa una buena estrategia para agrupar las variables en un solo valor. Para calcular los IS, se realizó por repetición y por localidad, tomando en cuenta las variables días a floración hembra (DFH), altura de mazorca (ALTMZCA) y rendimiento (REND), ya que fueron de gran interés y mayor importancia en las dos localidades de estudio. Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 4.6 para el probador 1 (351-296-1-6-A) y el cuadro 4.7 para el probador 2 (MLS4-1).

Para ambos casos, cuadro 4.6 y cuadro 4.7, se observa que las fuentes de variación localidad y repetición dentro de localidad, hubo diferencias altamente significativas, esto dice que hubo comportamiento diferente entre ambientes así como repeticiones dentro de ambientes, estas diferencias son atribuidas a las condiciones climáticas, edáficas, de ubicación geográfica y de manejo, etc.

En lo que respecta a la fuente de variación tratamientos en ambos probadores no se detectó diferencia significativa, lo cual dice que su comportamiento es estadísticamente similar.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos en la fuente de variación tratamiento, existe diferencias para el valor de F calculada, 0.4967 para el probador 1 (351-296-1-6-A), lo cual indica que es un mal probador, ya que es muy dominante y enmascara diferencias entre líneas, para el probador 2 (MLS4-1) el valor de F calculada es 0.0719, el cual indica que aunque no haya diferencias significativas a $P \leq 0.05$ es contrastante y se puede encontrar diferencias entre líneas y seleccionar las mejores.

CUADRO 4.6 Cuadrados medios y análisis de varianza para híbridos en base a índice de selección del probador 1 (351-296-1-6-A).

FV	GL	CUADRADOS MEDIOS	VALOR DE F CALCULADA
LOC	1	1190,475	0.0001
REP(LOC)	2	612.973	0.0001
TRAT	76	7.289	0.4967
LOC*TRAT	76	8.382	0.2376
ERROR	151	7.309	
CV		19.828	
MEDIA		13.635	

LOC=localidad, REP(LOC)=repetición dentro de localidad, TRAT=tratamiento, LOC*TRAT=localidad por tratamiento, CV=coeficiente de variación.

CUADRO 4.7 Cuadrados medios y análisis de varianza para híbridos en base a índice de selección del probador 2 (MLS4-1).

FV	GL	CUADRADOS MEDIOS	VALORES DE F CALCULADA
LOC	1	3044,713	0.0001
REP(LOC)	2	304.245	0.0001
TRAT	76	9.471	0.0719
LOC*TRAT	76	7.445	0.4079
ERROR	152	7.140	
CV		18.290	
MEDIA		14.609	

LOC=localidad, REP(LOC)=repetición dentro de localidad, TRAT=tratamiento, LOC*TRAT=localidad por tratamiento, CV=coeficiente de variación.

Después de haber obtenido los mejores híbridos en base a su índice de selección, se realizó otro análisis de varianza para identificar las cruzas con mejor comportamiento agronómico en base a 3 variables, DFH, ALTMZCA y REND, las cuales se presentan en el cuadro 4.8.

CUADRO 4.8 Híbridos seleccionados por su IS tomando como criterio la media menos 1.75 veces el error estándar de la media (equivalente al 10% superior de la población).

PROBADOR 1 (351-296-1-6-A)			
PARCELA	ENTRADA	CRUZA	IS
230	74	T3	9.5409
262	4	(M16 x LBCPC4S4-3)-15 x 351-296-1-6-A	10.81365
255	15	LE-7-1-A-A x 351-296-1-6-A	10.85915
225	30	(PE-203-2 X LBCPC4S4)-4-A x 351-296-1-6-A	11.023325

PROBADOR 2 (MLS-4)			
PARCELA	ENTRADA	CRUZA	IS
262	73	T4	9.93375
237	70	T1	11.2137
206	28	(M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-15 x MLS4-1	11.351725
239	29	(M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-18 x MLS4-1	11.989975

La selección del genotipo que contenga el valor más pequeño de índice será el mejor de acuerdo con el criterio deseado por el usuario (Barreto *et al.*, 1991). Los híbridos que presentaron el índice más bajo para el probador 1 (351-296-1-6-A) son: T3, seguido por los híbridos experimentales (M16 x LBCPC4S4-3)-15 x 351-296-1-6-A, LE-7-1-A-A x 351-296-1-6-A y (PE-203-2 X LBCPC4S4)-4-A x 351-296-1-6-A. los híbridos que presentaron el índice mas

bajo para el probador 2 (MLS4-1)son los siguientes: T4 y T1, seguido por los híbridos experimentales: (M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-15 x MLS4-1 y (M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-18 x MLS4-1. Todos ellos reúnen las características establecidas (floración hembra, altura de mazorca y rendimiento) reflejando superioridad entre el resto de los híbridos.

V. CONCLUSIONES

Se detectaron líneas sobresalientes en las siguientes variables; para días a floración hembra, altura de mazorca, calificación planta, calificación de mazorca, y para rendimiento.

Considerando el valor de F calculada indica que el probador número dos (MLS4-1) fue el que presentó mayor discriminación, por lo tanto, fue el mejor cumpliendo con el objetivo e hipótesis planteada, al menos una línea y un probador tendrán mejores efectos genéticos.

Los híbridos seleccionados por su IS tomando como criterio la media menos 1.75 veces el error estándar de la media (equivalente al 10% superior de la población) en base a 3 variables (DFH, ALTMZCA y REND) son: (M16 x LBCPC4S4-3)-15 x 351-296-1-6-A, LE-7-1-A-A x 351-296-1-6-A y (PE-203-2 X LBCPC4S4)-4-A x 351-296-1-6-A. (M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-15 x MLS4-1 y (M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-18 x MLS4-1.

VI. RESUMEN

Con el objetivo de discriminar líneas en el proceso de mejoramiento genético de maíz, e identificar combinaciones híbridas prometedoras, se evaluaron 140 cruces de prueba (69 líneas con un probador enano y 71 con un probador normal) en el ciclo primavera verano del año 2011 en las localidades El Prado N. L. y Tlahuelilpan Hgo.; Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar mediante un arreglo alfa-látice con dos repeticiones por localidad; se midieron las variables floración macho y hembra (días), altura de planta, altura de mazorca, acame de raíz, mala cobertura, plantas con *fusarium*, calificación planta, calificación mazorca, prolificidad, rendimiento y kg/hl. Se realizó un análisis de varianza general para estas variables, al identificar diferencias en diferentes variables hace que se dificulte la selección de los híbridos, por lo tanto para la identificación de híbridos superiores se utilizó la metodología basada en índices de selección (IS), el cual se construyó con tres variables agronómicas: días a floración hembra, altura de mazorca y rendimiento. Uno de los resultados indica que se seleccionaron líneas sobresalientes en las siguientes variables: días a floración hembra, altura de mazorca, calificación planta, calificación de mazorca, y para rendimiento. Otro importante resultado muestra que el probador MLS4-1 fue el que presentó mayor discriminación, con base al valor de F calculada y en base al índice de selección. Los híbridos

experimentales que presentaron los mejores índices de selección fueron (M16 x LBCPC4S4-3)-15 x 351-296-1-6-A, LE-7-1-A-A x 351-296-1-6-A y (PE-203-2 X LBCPC4S4)-4-A x 351-296-1-6-A; (M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-15 x MLS4-1 y (M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-18 x MLS4-1.

Palabras Clave: Reciclaje de Líneas, Retrocruza, Índice de Selección (IS), Maíz (Zea mays).

VII. BIBLIOGRAFIA

Barrera E., Muños A., Márquez F., Martínez Á. 2005. Aptitud combinatoria en razas de maíz mejorada por retrocruza limitada. I: caracteres agronómicos. Rev. Fitotec. Méx. Vol. 28. No. 003. pp. 231-242.

Barreto H. J., J. A. Bolaños, H. S. Córdoba. 1991. Índice de selección: guía para la operación del software. Manual de capacitación regional. Programa Regional Centroamérica y el Caribe. Guatemala.

Bejarano A. 2007. Híbridos simples: una alternativa para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Venezuela. Resumen. FONAIAP – CENIAP-IIA. V jornadas científicas de maíz.

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.

Cerón R. J. J. y Sahagún C. J. 2005. Un índice de selección basado en componentes principales. *Agrociencia* Vol. 39: 667-677.

Córdova H., Castellanos S., Barreto H., Bolaños J., Veinticinco años de mejoramiento en los sistemas de maíz en Centroamérica: logros y estrategias hacia el año 2000. *Agronomía Mesoamericana*. Vol. 13. Número 001. pp. 73-84.

De La Cruz L., Sánchez J., Ron J., Santacruz F., Rodríguez E., Ruiz J., Morales M. 2008. Probadores de maíz para factores de incompatibilidad gametofítica. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 31 (4): 341 – 349,

De León H., Espinoza J., Sámano D., De La Rosa A. 2003. Análisis del comportamiento genético de dos grupos germoplásmicos complementarios de maíz.

Gómez N., Sierra M., González M., Cantú M., Ramírez A., Wong J., Manjarrez M., Ramírez J., Espinosa A. 2008. H-562, híbrido de maíz de alto rendimiento para el trópico húmedo y seco de México. *Agricultura Técnica en México*. Vol. 34. Núm. 1. p. 101-105.

González S., Córdoba H., Rodríguez S., De León H., Serrato V. 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.

Hallauer, A. R. 2000. Quantitative genetics and breeding methods. In: A. Gallais (ed). Biometrics in Plant Breeding. Eucarpia. Paris. pp. 127-138.

Malacarne María F. y San Vicente G, Félix M. 2005. Patrones heteróticos de líneas tropicales blancas de maíz. *Agronomía Trop.*, vol.53, no.4, p.32-40. ISSN 0002-192X.

Márquez S. F. (1990) Backcross theory for maize. I. Homozygosis and heterosis. *Maydica* 35:17-22.

Menkir A., B. Badu-Apraku, C. The and A. Adepoju. 2003. Evaluation of heterotic patterns of IITA'S lowland white maize inbred lines. *Maydica* 48:161-170.

McLean, S. D., S. K. Vasal; S. Pandey and G. Srinivasan. 1997. The use testers to exploit heterosis in tropical maize at CIMMYT in: Book of Abstracts. The genetics and exploitation of heterosis in crops. An exploitation symposium. Mexico. D. f., pp. 26-27.

Paliwal R. L. 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma.

Ramírez L. 2006. Mejora de plantas alogamas. Universidad Pública de Navarra. Depto. de Producción Agraria. España. Enero 2006

Restrepo G., Pizarro E. J., Quijano J. H. 2008. Índices de selección y niveles independientes de descarte para características productivas y reproductivas en un hato holstein (*Bos taurus*). Rev. Colomb Cienc Pecu. Vol. 21: 239-250

Sierra M., Márquez F., Valdivia R., Cano O., Rodríguez F. 2000. Aptitud combinatoria general y específica de líneas tropicales de maíz usando probadores. Agronomía Mesoamericana. Vol. 11. Número 001 pp. 103-112.

Sierra M., Palafox A., Rodríguez F., Espinosa A., Gómez N., Caballero F., Barrón S., Sandoval A., Vázquez G. 2006. H-518, híbrido trilineal de maíz para el trópico húmedo de México. Agricultura Técnica en México. Vol. 32. Num. 1. p.115-119.

Sierra M., Preciado O., Alcázar A., Rodríguez M. 1991. Selección de líneas por su rendimiento y adaptación con base en un patrón heterótico conocido. *In:* Memoria de la XXXVII Reunion Anual del PCCMCA. Panamá, Panamá. Pp. 109-116.

Tucuch C., Rodríguez S., Reyes M., Pat J., Tucuch M., Córdova H. 2011. Índices de selección para producción de maíz forrajero. *Agronomía Mesoamericana*. Núm. 22. p. 123-132.

Vaca, Z. R. 1991. Formación de híbridos superiores de maíz para trópico seco, partiendo de líneas recobradas del AN-461, con diferentes probadores. Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah.

Vasal S., Vergara N., McLean. 1994. Estrategias en el desarrollo de híbridos tropicales de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 5. 184-189.

Yañez L. 2005. Índices de Selección: Sugerencias para su utilización. Manual de ganadería doble propósito. Universidad Nacional Experimental Sur del Lago. P. 106-110.

Xia, X., J. Rief, D. Hoisington, A. Melchinger, M. Frisch y M. Warburton. 2004. Genetic diversity among cimmyt maize inbred lines investigated with SSR markers: I. Lowland tropical maize. *Crop Sci.* 44: 2230-2237.