

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Evaluación de Líneas Endogámicas de Maíz Amarillo para el Sureste de Coahuila

Por:

EDILVAR GEOVANI ROBLERO MUÑOZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Septiembre, 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Evaluación de Líneas Endogámicas de Maíz Amarillo para el Sureste de Coahuila

Por:

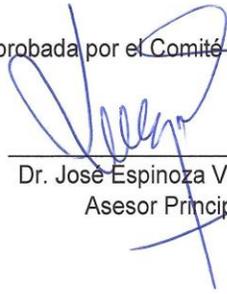
EDILVAR GEOVANI ROBLERO MUÑOZ

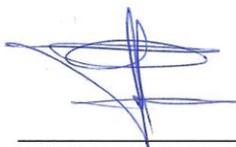
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

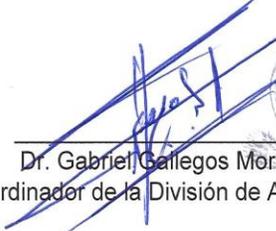
Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. José Espinoza Velázquez
Asesor Principal



M.C. Roberto Espinoza Zapata
Coasesor


Ing. Gustavo Alfonso Burciaga Vera
Coasesor


Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía


Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Septiembre, 2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios. *Tan agradecido por simplemente haberme dado el regalo de la vida, en mi caminar haberme mostrado la vocación para llegar a ser quien ahora soy, por todos aquellos lugares y personas que me puso en el camino para no sentirme solo y así poder disfrutar de la calidez de la vida, aunque se hayan presentado momentos inoportunos pero que a su vez es el impulso que uno necesita al final él sabe y su voluntad queda plasmada en cada una de ellas, por la sabiduría y entendimiento que necesitamos como personas para ser cada día mejor, pero más agradecido por el temor hacia él, ya que es el único sobre todas las cosas y la gloria siempre será de ti mi Dios.*

A Mí Alma Terra Mater, *por darme todas las herramientas necesarias para poder cumplir con un objetivo, ser profesionista con afán de ayudar y servir a la tierra que nos da la vida, ha sido de gran orgullo y placer haber sido parte de tan gran institución.*

Al Dr. José Espinoza Velázquez, *por haber sido parte de mi formación académica, dándome la oportunidad de trabajar y aprender de sus conocimientos, por su valiosa amistad, su apoyo, por su disponibilidad y tiempo, sinceramente muchas gracias.*

Al MC. Roberto Espinoza Zapata, *por su colaboración en este trabajo, por su dedicación en clases y su apoyo incondicional.*

Al Ing. Gustavo Alfonso Burciaga Vera, *por su valiosa amistad y colaboración en este trabajo, así también su dedicación y entrega sus cursos impartidos.*

Al Ing. Juan Samuel Guadalupe Jesús Alcalá Rico, *por su colaboración para la elaboración del presente trabajo, a su vez el acompañamiento en las diferentes actividades que se realizaron, por su amistad muchas gracias, Al Sr. Jesús Zavala Betancourt y Rogelio Burciaga Vera por su gran amistad y sobre todo el apoyo incondicional en las actividades que se realizaron desde la preparación de los materiales hasta la cosecha, muchas gracias.*

DEDICATORIAS

A mis queridos Padres:

ROLANDO ROBLERO LÓPEZ

ARMINDA MUÑOZ RODRÍGUEZ

A mi Padre por ser un impulso siempre en mi vida, por enseñarme a ser una persona con valores, por el gran apoyo incondicional, por su gran amor, cariño y sobre todo la mejor amistad; la manera de luchar y salir adelante se lo debo a ti Papá.

A mi Madre por su gran amor y cariño, por alentarme en salir adelante, aconsejarme y estar siempre pendiente de mí, sobre todo el hacerme sentir orgulloso de ser tu hijo Mamá.

Ambos son parte fundamental en mi vida, y todos los logros siempre serán de ustedes, gracias por la mejor herencia... La educación.

A mis Hermanos:

Abimael, Ariana Nayeli, Susi & Yovani Cruz.

A cada uno de ustedes por todos los momentos que juntos hemos vivido, por el apoyo y hermandad que siempre persistirá, por su cariño y comprensión los quiero.

*En especial a la persona que se ha vuelto como pilar en mi vida, a quién me ha dado su amor, cariño, confianza, motivación etc. Por estar conmigo en las buenas y en las malas, pero sobre todo por brindarme tanta felicidad, este logro también lo comparto contigo mi querida novia **María Fernanda Ballinas Moreno**, y a la vez a su querida familia que me han acogido como parte de ella.*

Y a toda mi familia que el apoyo que se ha sentido siempre, a mis abuelos con gran cariño, tíos y primos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | Página |
|--|--------|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| OBJETIVOS..... | 5 |
| HIPÓTESIS..... | 5 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 6 |
| Importancia del maíz..... | 6 |
| Hipótesis de la domesticación del maíz..... | 9 |
| Mejoramiento genético del maíz..... | 11 |
| Líneas puras..... | 12 |
| Hibridación en maíz..... | 15 |
| Probadores y línea por probador..... | 18 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 21 |
| Material genético..... | 21 |
| Formación de las cruzas de prueba..... | 22 |
| Descripción de la localidad de evaluación..... | 23 |
| Descripción de la parcela experimental..... | 23 |
| Labores culturales..... | 25 |
| Variables agronómicas a evaluar..... | 27 |
| Análisis estadístico..... | 29 |
| Conversión de datos..... | 30 |
| Análisis línea por probador..... | 30 |

| | |
|---|-----------|
| Metodología utilizada para el cálculo de ACG de líneas y probadores..... | 31 |
| Criterios de selección..... | 32 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 33 |
| Análisis de varianza línea por probador ambiente 1..... | 36 |
| Análisis de varianza línea por probador ambiente 2..... | 40 |
| Análisis de varianza combinado | 42 |
| Selección de líneas a partir de su aptitud combinatoria general (ACG)..... | 45 |
| Selección de probadores para emplearse como progenitores de híbridos o para discriminar líneas por su efecto de ACG..... | 47 |
| Selección de las mejores cruzas por su aptitud combinatoria específica (ACE) de las 18 líneas con los 2 probadores respecto al rendimiento..... | 48 |
| Valores promedio de las líneas con los probadores tomando en cuenta las variables de mayor interés..... | 51 |
| Concentración de las mejores 5 líneas respecto al valor obtenido de ACG | 52 |
| Referencia de las mejores líneas con respecto a la media general de cada variable..... | 53 |
| V. CONCLUSIONES..... | 55 |
| VI. RESUMEN..... | 56 |
| VII. LITERATURA CITADA..... | 58 |

ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro | Página |
|--|--------|
| 2.1 Estadísticas de producción en maíz grano y forrajero comprendiendo los últimos 10 años (2005-2014) en México..... | 7 |
| 3.1 Listado de líneas y probadores utilizados en el ensayo de rendimiento | 21 |
| 4.1 Promedio de las variables, por línea y probadores, Ambiente 1 | 34 |
| 4.2 Promedio de las variables, por línea y probadores, Ambiente 2..... | 35 |
| 4.3 Cuadrados medios del análisis de varianza línea por probador, Ambiente 1..... | 39 |
| 4.4 Cuadrados medios del análisis de varianza línea por probador, Ambiente 2 | 41 |
| 4.5 Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de 36 híbridos, formados a partir de 18 líneas con dos probadores y 2 ambientes diferentes | 43 |
| Continuación del Cuadro 4.5 | 44 |
| 4.6 Aptitud combinatoria general (ACG) de las 18 líneas con base a su rendimiento..... | 46 |
| 4.7 Aptitud combinatoria general de los probadores para cada una de las variables estudiadas..... | 47 |
| 4.8 Aptitud combinatoria específica (ACE) de las cruzas para cada una de las variables evaluadas..... | 49 |

| | |
|---|----|
| Continuación del 4.8..... | 50 |
| 4.9 Media de las líneas con cada probador para las variables de mayor interés..... | 51 |
| Continuación del Cuadro 4.9 | 52 |
| 4.10 Concentración de las mejores 5 líneas respecto a la ACG tomando en cuenta las variables de mayor interés y su media respectivamente..... | 53 |
| 4.11 Referencia de las mejores líneas en cuanto al comportamiento general para las variables de mayor interés..... | 54 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figuras | Página |
|--|--------|
| 3.1 Establecimiento de la parcela experimental etapa V2..... | 24 |
| 3.2 Parcela en etapa V4..... | 24 |
| 3.3 Aspecto de mazorca | 26 |
| 3.4 Demostración de parcela..... | 26 |
| 3.5 Ordenamiento por aspecto..... | 26 |

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los granos alimenticios más importantes del que se tiene conocimiento de hace varios miles de años. La especie pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas, y es la única cultivada de este género. Otras especies del género *Zea*, comúnmente llamadas teocintle y las especies del género *Tripsacum* conocidas como arrocillo o maicillo son formas silvestres parientes de *Zea mays*, clasificadas como del “*Nuevo Mundo*” porque su centro de origen está en América (Paliwal *et al.*, 2001).

Por otra parte, Kato *et al.* (2009) mencionan que al tomar en cuenta la antigüedad de las evidencias arqueológicas en su conjunto y la presencia de los parientes silvestres más cercanos al maíz (los teocintles del género *Zea* y el mayor número de especies del género *Tripsacum*) en territorio mexicano, han convencido a la comunidad científica interesada en el tema, que México es el centro de origen de este cereal.

Este mismo autor menciona a cerca del origen y la diversificación del maíz, donde se hace una revisión amplia sobre las diversas teorías del origen del maíz, así como la diversificación y distribución actual del maíz en México. De este libro, de la sección *Presentación* por José Sarukhán Kermez, puede leerse lo siguiente: “*México y la región mesoamericana son el centro de origen del maíz y de su diversificación en las más de 50 razas nativas reconocidas en nuestro territorio.*”

Dónde precisamente, cuándo y cómo se originó el maíz en México son preguntas que no se pueden contestar con precisión. Lo que parece ser claro es que el proceso ocurrió simultáneamente en diversas regiones y se extendió prácticamente a todo el territorio nacional, habitado por las centenas de grupos indígenas que han constituido las raíces históricas de lo que nuestro país es ahora". Sin duda, expertos de los diversos temas son los co-autores de los temas abordados en el libro.

Existe gran relación del género *Zea* con el género *Tripsacum*. Los miembros del género *Tripsacum* se encuentran en toda América del Norte y del Sur. Las especies de *Tripsacum* tienen números cromosómicos diversos ($n=18$ ó 36) comparados con el número básico de cromosomas del género *Zea* ($n=10$). Una de las especies interesantes de este género es referido a *Tripsacum dactyloides*, se utiliza como forraje para el ganado en los EE.UU. (Buckler *et al.*, 1996). Se conoce que *Zea mays* puede ser fecundada por gametos masculinos de *T. dactyloides* (De Wet y Harlan, 1974; Leblanc *et al.*, 1995; Shavrukov y Sokolov, 2015).

La importancia del cereal está dada por su diversidad de usos; en los países industrializados se utiliza principalmente como forraje (silo), maíz en grano para alimento pecuario principalmente (ganado vacuno, porcino y avícola), materia prima para la producción de alimentos procesados, colorantes, aditivo para cosméticos y, recientemente, para la producción de etanol. Por el contrario, en algunos países de América Latina y, cada vez más en países africanos, un gran

porcentaje del maíz que se produce o importa se destina al consumo humano. Los maíces modernos son utilizados en forma de grano y su importancia dependerá de sus características. El tipo de maíz mayormente utilizado en México es el “dentado”; el tipo cristalino es de lo más utilizado en EUA. Otro tipo moderno de maíz es el palomero. En lo general, los maíces de mayor importancia lo constituyen los de grano cristalino, cuyo endospermo y pericarpio mayormente son amarillos, su explotación es debido al contenido de almidón dentro del pericarpio que es la parte importante del grano. Por otra parte, se toman en cuenta otras características dentro de los grupos modernos de granos en este cereal, como aquellos que se refieren a los granos cerosos, harinosos y tunicados, este último adquiere importancia con fines de investigación científica.

La importancia del impacto económico de la producción masiva de este grano, es una de las razones que motiva a los fitomejoradores para fijar como objetivo principal la generación de nuevas variedades, aptas para mayores rendimientos y alta competitividad de mercado, contribuyendo así en el abastecimiento de la demanda nacional y mundial. Es en este contexto, la necesidad de aplicar las metodologías más adecuadas para la obtención de genotipos sobresalientes. Dichas metodologías están enfocadas tanto en el mejoramiento tradicional que comprende la libre polinización y selección masal, como al mejoramiento moderno, hibridación, la utilización de dobles haploides y otras tecnologías moleculares del mejoramiento asistido por marcadores.

En diferentes países existen programas de generación de nuevos híbridos o variedades comercializados. Dicha labor también se tiene en la función de investigación en universidades atendiendo la problemática actual sobre el estado del arte en el mejoramiento genético del maíz, pero con el objetivo principal dedicado a la formación profesional de nuevos técnicos e investigadores. Este trabajo de tesis aborda un tema relativo a la evaluación productiva de una serie de líneas endogámicas, en cruza con dos probadores, como parte de una estrategia para generar variedades de maíz amarillo para la zona de influencia de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

OBJETIVOS

- I. Evaluar por sus características agronómicas competitivas, un grupo de líneas de maíz amarillo, generadas en el ambiente agroclimático del sur de Saltillo.

- II. Identificar el mejor probador con mayor discriminación de líneas y a su vez, el probador que pueda ser utilizado como progenitor de híbridos.

HIPÓTESIS

- I. En base a las cualidades de aptitud combinatoria de las líneas, al menos una de ellas sobresaldrá en las características de mayor importancia agronómica.

- II. Al menos un probador tendrá los atributos deseados y será diferente al otro para discriminar las líneas por sus buenas combinaciones híbridas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del maíz

El maíz destaca como cultivo por su gran importancia a nivel mundial. En los últimos años se ha observado una tendencia creciente a la diversificación del uso del maíz, pudiéndose utilizar para consumo humano y pecuario, especialmente a la producción de ganado vacuno, porcino y avícola, y en otras diversas actividades industriales como la producción de almidón, glucosa, dextrosa, aceites, botanas, etanol, aceites, etc. También, como ingrediente en la elaboración de bebidas gaseosas (refrescos), alcohólicas y otros productos utilizados como materia prima. Del mismo modo, hay algunos derivados del maíz utilizados en las industrias minera, textil, electrónica, adhesiva, farmacéutica, cosmética, etc., siendo así uno de los granos más explotados, provocado por el aumento de su demanda y por ende, el precio respectivo (García *et al.*, 2004).

La producción mundial estimada en el año 2015 fue de 968.9 millones de toneladas (USDA. Grain World Market & Trade. Mayo, 2016), con expectativas de aumento en la producción debido al incremento del consumo en este año. Dentro de los países con mayor producción se encuentra EUA, China, Brasil y Argentina, por lo tanto son los principales exportadores de este grano. Cabe mencionar que el tipo de maíz que más se produce a nivel mundial es de grano amarillo, por tener

características de mayor explotación, tanto en la industria, complemento alimenticio del ganado y también de consumo humano.

En México, el maíz es la especie más importante cultivada esto se debe al impacto social que tiene y a la superficie sembrada con un 33.7 % del total de la superficie dedicada a la producción agropecuaria (SIAP-SAGARPA, 2015), este porcentaje representa 7.4 millones de hectáreas sembradas de las cuales, el 82.8% maneja una tecnología de temporal, lo que implica áreas muy susceptibles a condiciones climáticas adversas, con posibilidades de afectación en los niveles de productividad. El siguiente Cuadro 2.1 toma en cuenta las estadísticas de los últimos 10 años de producción del grano y forraje, datos para México.

Cuadro 2.1 Estadísticas de producción de maíz grano y forraje, comprendiendo los últimos 10 años (2005-2014) en México[‡].

| Año agrícola (OI + PV) | Sup. | Sup. | Producción | Valor |
|--|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| - Maíz Grano & Forrajero - Riego + temporal | Sembrada | Cosechada | | Producción |
| | (Millones de ha) | (Millones de ha) | (Millones de t) | (Miles de \$) |
| Año 2005 | 8.32 | 6.91 | 27.79 | 33245355.27 |
| Año 2006 | 8.18 | 7.64 | 32.38 | 47319066.52 |
| Año 2007 | 8.47 | 7.66 | 33.86 | 60846916.99 |
| Año 2008 | 8.44 | 7.82 | 37.2 | 73421863.13 |
| Año 2009 | 8.21 | 6.56 | 29.38 | 59734922.39 |
| Año 2010 | 8.39 | 7.64 | 35.08 | 70201481.8 |
| Año 2011 | 8.23 | 6.38 | 27.24 | 76316565.71 |
| Año 2012 | 8.02 | 7.51 | 34.13 | 95589919.57 |
| Año 2013 | 8.05 | 7.65 | 35.27 | 83348400.33 |
| Año 2014 | 8.00 | 7.61 | 37.05 | 79286913.84 |

[‡] Fuente: SIAP Anuario estadístico de la producción agrícola Año 2015. México.

Hasta el año 2015, los volúmenes de producción de maíz en México no han logrado cubrir la demanda total del grano, especialmente en los requerimientos industriales de maíz amarillo, por lo que por lustros se ha tenido que importar diversos volúmenes que en los años más críticos el volumen importado alcanzó los 8.5 millones de toneladas. Un dato publicado por el despacho USDA Grain: World Markets and Trade, en su número de mayo, 2016, se estima que México importará alrededor de 1.5 millones de toneladas de maíz amarillo, destinado mayormente a la producción pecuaria.

La producción del maíz amarillo, del que tradicionalmente México es deficitario, subió un 33 % de octubre 2014 a septiembre 2015, según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2015). Sin embargo, solamente se pudo disminuir el 1.2 % de las importaciones de este tipo maíz en el periodo mencionado. Su principal uso es para alimentar al ganado y también se destina para la industria de algunos alimentos como las frituras y los elaborados a base de almidones. Por el contrario, el maíz blanco únicamente registró un aumento de 9 % en su producción, la cual fue de 22, 257, 000 toneladas frente a los 3, 043, 000 toneladas que se obtuvieron del amarillo. Una de las razones por las que el país es deficitario en la producción de maíz amarillo es que el grano blanco es la base de la alimentación de los mexicanos. Se le utiliza para elaborar las tortillas y muchos alimentos tradicionales, como los tamales y algunas harinas.

Es por ello, que su variedad se siembra en mayores volúmenes por todo el país.
(Panorama Agrario de México, Noviembre, 2015)

Hipótesis de domesticación del maíz

La investigación sobre la domesticación del maíz ha atraído un gran interés en el último siglo, a la cuestión de la evolución de cómo el maíz se originó a partir de un pariente silvestre que difiere de manera tan dramática en la aurícula y la morfología de la planta. Dicho estudio de domesticación se dividió en dos grupos:

1. Hipótesis en competencia: El primer período comenzó en la década de 1930 cuando George Beadle y Paul Mangelsdorf proponen dos hipótesis contrastantes para el origen del maíz. Beadle propuso la “hipótesis teocintle” en la que el maíz es simplemente una forma domesticada del teocintle. Se cree que, a través de la selección artificial de las poblaciones antiguas, varias pequeñas mutaciones con efectos relativamente grandes podrían haber transformado el teocintle al maíz. Por el contrario, Mangelsdorf sugirió el maíz era el producto de una hibridación entre un maíz silvestre sin descubrir y *Tripsacum*, conocida como la “Hipótesis tripartita.” En este caso Kato *et al.*, 2009 menciona que la teoría tripartita postula: 1) que el maíz cultivado fue domesticado de un maíz silvestre palomero-tunicado sin nudos cromosómicos; 2) que el maíz sin nudos cromosómicos se hibridó con el *Tripsacum* que tiene muchos nudos cromosómicos terminales dando origen a un nuevo tipo de planta, el

teocintle; 3) que la hibridación directa de maíz con *Tripsacum* o la introgresión de germoplasma de *Tripsacum* al teocintle a maíz dio origen a la mayoría de los tipos modernos de maíz que existen en América. Aunque las revisiones de la hipótesis tripartita fueron sugeridas por Mangelsdorf en la década de 1980 y de nuevo por Eubanks en la década de 1990, no hay evidencia genética molecular convincente nunca se ha encontrado para apoyar estas hipótesis *Tripsacum*.

2. El Genoma: El segundo período comenzó a finales de 1960 cuando los investigadores centraron su atención en la descripción de la diversidad y las relaciones evolutivas dentro del género *Zea*, y en la determinación de los genes implicados en la domesticación y la evolución del genoma. Garrison Wilkes publicó la primera monografía exhaustiva sobre el teocintle en 1967. Hugh Iltis, John Doebley, Raphael Guzmán, y B. Pazy vigorizaron la investigación sobre teosintle por descubrir, y describir las especies perennes *Z. diploperennis*. En 1980, Iltis y Doebley establecieron una taxonomía organizada que considera las relaciones evolutivas entre los taxones probables. McClintock y Kato (1981) sintetizan y publican datos sobre diversidad de nudos cromosómicos que habían sido recogidas durante los 30 años anteriores. A lo largo de los años 1980 y 1990, Charles Stuber y el grupo de investigación de Major Goodman producen un amplio análisis de la diversidad de isoenzimas en más de 1000 razas de maíz y en casi todas las poblaciones de teocintle conocidas.

Con el advenimiento de los análisis de ADN y la secuenciación en la década de 1980, John Doebley, Ed Buckler, y Brandon Gaut refinaron las relaciones filogenéticas entre los parientes silvestres y el género *Zea*, lo que contribuye a la comprensión de cómo el genoma de la especie ha evolucionado. A partir de la década de 1990, el grupo de investigación de John Doebley empezó a descubrir algunos de los genes implicados en la domesticación del maíz (Buckler *et al.*, 1996).

Mejoramiento genético del maíz

Las diversas fuentes de germoplasma de maíz disponibles en la actualidad, en la forma de poblaciones, variedades mejoradas, variedades sintéticas, híbridos, líneas puras, representan las fuentes de materiales genéticos más usados en casi todos los programas de mejoramiento de este cereal. Sin embargo, tales programas abarcan solamente una minúscula fracción de la diversidad genética. De cualquier manera, las ganancias inmediatas de los esfuerzos en el mejoramiento del maíz para aumentar los rendimientos son mucho mayores que el uso de los mejores cultivares existentes. Por lo tanto, es de esperarse que los mismos continuarán siendo recursos genéticos importantes para el mejoramiento del maíz, especialmente si los bancos de germoplasma de los mejoradores tienen una buena colección de tal germoplasma de distintas fuentes (Paliwal *et al.*, 2001).

Dowswell *et al.* (1996) describieron el crecimiento, la situación actual y la composición de los sistemas nacionales de investigación de maíz en los países en

desarrollo. Tal como era de esperar, su análisis mostró una gran variación entre los distintos componentes de los sistemas nacionales de investigación en maíz, los centros nacionales o estatales, las universidades o escuelas agrícolas y el sector privado. Lo cual pudiera indicar que se puede hacer más y mejores acciones para impulsar la investigación en el mejoramiento del maíz.

Paliwal y Sprague (1981) señalaron que existen numerosos esquemas de mejoramiento, cada uno de los cuales presenta ventajas y desventajas, por lo que una técnica de mejoramiento debe ser considerada como un medio y no como un fin. Del mismo modo, o más importante aún, es que la aplicación de la metodología sea hecha con precisión y ejecución correcta.

Líneas puras

Marvin (1985) menciona que la homocigosis de una línea se logra mediante la autofecundación repetida y, por lo en general, por la sexta o séptima generación de autofecundación se considera genéticamente pura. Desafortunadamente, una reducción en las características de rendimiento, sanidad y otras características que son deseables, surge como resultado de la endogamia para lograr la identidad esencialmente genética. Como resultado, estas líneas endogámicas de maíz no se siembran como cultivo comercial. Este procedimiento es el que inició la utilización de líneas puras en la formación de híbridos, y es el esquema seguido de manera tradicional, aunque es conveniente señalar que en la actualidad diversas instituciones públicas y compañías productoras dedicadas a la venta de semilla

híbrida de maíz utilizan la técnica de dobles-haploides para generar nuevas líneas de alta endogamia. Una fuente de información en el tema fue publicada por CIMMYT (Prasanna *et al.*, 2013).

En términos clásicos, Brauer (1988) define a una línea pura como el conjunto de individuos que descienden de un solo individuo autofecundado sucesivamente. De manera equivalente, Márquez (1988) define a una línea endogámica como el conjunto de individuos resultantes, en una generación dada, de un sistema de apareamiento endogámico.

Por lo tanto Chávez (1995) menciona que, para la obtención de buenas líneas autofecundadas, es necesario partir de poblaciones previamente seleccionadas con base en su amplia variabilidad genética.

Ramírez (2006), menciona que una línea pura, consanguínea u homocigótica se obtiene a partir de una población alógama por autofecundación forzada durante varias generaciones, hasta que el grado de homocigosis alcanzado sea tal que no se aprecie segregación en nuevas autofecundaciones. Por lo tanto el proceso de obtención de líneas puras es en todo semejante al del manejo, por métodos genealógicos (pedigree), de las generaciones segregantes en plantas autógamas a partir de la F2 de un cruzamiento. Al forzar la autofecundación en plantas alógamas, se las “convierte” en plantas autógamas.

El proceso de obtención de líneas puede escribirse de manera resumida (Ramírez 2006) como sigue:

- 1- Siembra espaciada de un gran número de plantas de la población original. Selección de las mejores plantas (según los objetivos), seguido de aislamiento y autofecundación artificial de las mismas. A continuación, se recoge separadamente la semilla de cada planta.
- 2- Se siembra la descendencia de cada planta autofecundada en una parcela separada. Es conveniente conseguir de 20 a 50 plantas en cada descendencia. Estas generaciones formadas por descendencias de autofecundación se suelen llamar generaciones S. Esta será la generación S1, mientras que la población original es la generación S0.
- 3- En la S1, se hace primero una selección de parcelas y luego se seleccionan plantas dentro de las parcelas y se las autofecunda, recogiendo de nuevo por separado la semilla de cada planta.
- 4- Se siembran las parcelas de esta generación S2. Cada parcela de S2, procederá de una planta de la S1 autofecundada.
- 5- Se repiten los pasos 3 y 4 durante varias generaciones. Es conveniente mantener más o menos constante el número de parcelas en las generaciones S.
- 6- Alcanzada la generación S5 a S8 ya podrá observarse uniformidad dentro de cada parcela por aumento de la homocigosis. El número necesario de generaciones para alcanzar la uniformidad, dependerá del grado de heterocigosis de la población original. Alcanzada la mencionada uniformidad, toda parcela homogénea puede considerarse como una línea pura.

Por otra parte Prasanna *et al.* (2013) mencionan un método para generar líneas puras utilizando la tecnología de “doble haploide” (DH), que acorta el ciclo de mejoramiento de manera considerable por que hace posible un rápido desarrollo de líneas totalmente homocigóticas (en 2 ó 3 generaciones), en comparación con el proceso convencional de desarrollo de líneas endogámicas que tarda por lo menos 6 u 8 generaciones para obtener líneas con 99% de homocigosis. También el mismo autor hace mención de los beneficios que ofrece a los programas de mejoramiento a la industria semillera, como por ejemplo, reducción de los costos relacionados con las operaciones de mejoramiento, aceleración de los ciclos de mejoramiento para llevar los productos al mercado y mayor eficiencia en la caracterización y el aprovechamiento de germoplasma nuevo.

Hibridación en maíz

Para obtener un híbrido de maíz, se requiere de la fecundación de dos progenitores (parentales), líneas contrastantes o genéticamente diferentes, en esta cruce uno de los progenitores hace la función de polinizador (macho) y el otro la hace de receptor y productor de semilla (hembra), en este último, antes de la floración debe ser cortada la inflorescencia masculina (espiga), para evitar que el polen propio contamine a la planta hembra. En la producción de semilla híbrida de maíz es importante tomar en cuenta la coincidencia en floración (masculina y femenina), y llevar a cabo un completo control de la polinización, ya que debe

haber seguridad de que exista polen funcional de la planta macho en los estigmas receptivos de la planta hembra. (Espinosa *et al.*, 2001).

Gómez *et al.* (2008) mencionan 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 favorables, una mayor uniformidad y sanidad de planta y mazorca, además de poseer características de resistencia a condiciones adversas.

La generación de híbridos que puedan ser explotados comercialmente, es el resultado del mejoramiento genético que se enfoca a resolver problemas reales y urgentes, como es el caso de la falta de semilla mejorada de origen nacional y por su calidad y pureza genética, los agricultores incrementen su producción por unidad de superficie (Vega *et al.*, 2004).

Ortiz *et al.* (2010) consideran que el aspecto práctico del mejoramiento genético por hibridación está basado en el desarrollo de líneas endogámicas y la evaluación de su aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) para obtener híbridos comerciales de alto rendimiento, dado que el comportamiento de las líneas *per se* no provee una buena medida de su valor en combinaciones híbridas.

Un híbrido puede ser definido como el descendiente de dos padres que difieren en uno o más rasgos heredables. Sus padres pueden pertenecer a clones, variedades de polinización abierta, líneas puras o de especies distintas, por lo tanto la hibridación es la acción de fecundar dos individuos de distinta constitución

genética, es decir, cruzar dos variedades o especies diferentes para conseguir reproducir en la descendencia, alguno de los caracteres parentales. Es frecuente que los híbridos suelen mostrar mayor vigor que los parentales, es decir que la hibridación se utiliza para aprovechar la heterosis mejor que cualquiera de los métodos de mejora utilizados hasta ahora, lo que da lugar a un mayor rendimiento. (Gómez, 2007).

Por otra parte, Ramírez (2006) menciona que la utilización de la heterosis a escala comercial se hace patente en las variedades híbridas o sencillamente híbridos. Variedades híbridas son aquellas en las que las poblaciones F1, se usan para producir semilla comercial.

De León (2015) menciona que la heterosis es el desarrollo superior de la progenie híbrida en relación a sus padres, puntualizando en teorías que tratan de explicar este fenómeno como se presenta a continuación:

- 1- La sobre-dominancia basada en la complementación de los alelos cuando estos se encuentran en estado heterocigótico en el individuo.
- 2- La de dominancia, en la actualidad es la que tiene más aceptación, esta teoría está basada en que los descendientes híbridos deben poseer mayor cantidad de alelos dominantes que el que posee por separado cada uno de sus progenitores.
- 3- La de la expresividad de genes silenciados por efecto de la divergencia genética.

Probadores y línea por probador

En la evaluación de líneas endogámicas existe un método clásico que es la evaluación de líneas *per se*, sin embargo la utilización de probadores ha mostrado ser uno de los más efectivos.

Rawlings y Thompson (1962) definieron como un buen probador al material que clasifica correctamente el comportamiento de las líneas y discrimina eficientemente las líneas bajo prueba. En el mismo sentido, Maztinger (1953) define a un probador deseable aquel que combina la simplicidad en su uso con la máxima información en el comportamiento de las líneas.

Hallauer y Miranda (1988) indican que el tipo de acción génica es una de las variables más importantes para definir el probador apropiado; en general sugieren el uso de líneas puras élite para evaluar aptitud combinatoria. Mientras que Márquez (1988) hace mención que el mejor probador es el que contiene genes recesivo para el carácter de interés. Al usar líneas de alta y baja aptitud combinatoria general (ACG), y variedades de alto y bajo rendimiento como probadores.

Vasal *et al.* (1994) mencionan que el uso de probadores para la selección de líneas avanzadas, al mismo tiempo que la evaluación *per se*, representa una estrategia metodológica, alternativa para la generación de híbridos de maíz, ya que permiten dirigir de manera eficiente de las líneas seleccionadas y así lograr mejores combinaciones híbridas.

McLean *et al.* (1997) sugieren que en toda fase preliminar de un programa de formación de híbridos de maíz, debe probarse a líneas endogámicas por su productividad y aptitud combinatoria en sus combinaciones posibles, debido a que la evaluación y selección de líneas es la etapa más importante en un programa de mejoramiento de plantas. Por lo tanto, el uso de probadores es indispensable; el mismo autor define a un probador como aquél que clasifica correctamente el mérito de los genotipos probados dentro de grupos heteróticos, de modo que diferencie efectivamente los genotipos evaluados, aumenta la varianza y la ganancia genética.

En cuanto a la agrupación de líneas, Paliwal *et al.* (2001) comentan que los probadores son utilizados para establecer modelos heteróticos, mejoramiento entre poblaciones, formación y mejoramiento de nuevos grupos heteróticos, evaluación de la aptitud combinatoria de las líneas, e identificación de las combinaciones específicas de híbridos.

En sentido semejante, Sierra *et al.* (2004) indican que el propósito principal de usar probadores de líneas es identificar con éxito las líneas no relacionadas con él, cuando el objetivo del mejorador es separar grupos divergentes de líneas avanzadas, lo conveniente es usar como probadores dos líneas que formen un par heterótico, es decir, lograr una cruce simple con alta aptitud combinatoria específica (ACE).

En cuanto a la aplicación del método línea x probador, Vergara *et al.* (1998) mencionan la importancia de considerar el uso de líneas con caracteres

contrastantes y patrones heteróticos en el desarrollo de híbridos para maximizar el comportamiento de la F_1 . Por tal motivo realizaron estimaciones de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) para rendimiento de grano de maíz utilizando el diseño de línea x probador.

La literatura científica reporta un alto número de aplicaciones del método línea x probador en maíz. En este tema, Sierra *et al.* (2000), estimaron la aptitud combinatoria general y específica en líneas tropicales con varios niveles de endogamia, procedente de diversas fuentes de germoplasma. De ese estudio, concluyeron que el uso de líneas como probadores les permitió estimar el efecto de probadores para identificar a las mejores líneas en cada grupo diferente y la mayor frecuencia de mestizos sobresalientes y además el uso de estos, les permitió encontrar una separación de grupos heteróticos de líneas.

Rashid *et al.* (2007) indican que el análisis Línea x Probador es una de las herramientas más poderosas para predecir la aptitud combinatoria general (ACG) de los padres, selección de padres adecuados y cruzas con alta capacidad combinatoria específica (ACE) además de proporcionar información sobre efectos de aptitud combinatoria de genotipos y también, conocimientos sobre genética, mecanismo de control y componentes de rendimiento.

Aslam *et al.* (2014) mencionan que el método de línea por probador es una herramienta o estrategia para evaluar la combinación de efectos de la aptitud de los genotipos, y también para proporcionar información sobre mecanismos genéticos que controlan ciertos rasgos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

El presente trabajo de investigación incluyó 18 líneas endogámicas S3 (Cuadro 3.1) perteneciendo al programa de mejoramiento de maíz del Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (en lo sucesivo denominado como IMM). Las líneas fueron cruzadas con dos probadores generando un total de 36 híbridos, mismos que fueron evaluados en parcelas experimentales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro durante el ciclo primavera – verano del 2014.

Cuadro 3.1 Listado de líneas y probadores utilizados en el ensayo de rendimiento[‡].

| Línea | Clave | Línea | Clave |
|----------|-------|----------|-------|
| 1 | 2119 | 10 | 2310 |
| 2 | 2201 | 11 | 2312 |
| 3 | 2203 | 12 | 2314 |
| 4 | 2204 | 13 | 2315 |
| 5 | 2205 | 14 | 2418 |
| 6 | 2206 | 15 | 2419 |
| 7 | 2209 | 16 | 2420 |
| 8 | 2219 | 17 | 2421 |
| 9 | 2304 | 18 | 2503 |
| Probador | Clave | Probador | Clave |
| 1 | 2105 | 2 | 2107 |

[‡] La descripción de las líneas y probadores se relata en los párrafos que siguen a este Cuadro.

Formación de las cruzas de prueba

Las 18 líneas fueron derivadas por el proceso de autofecundaciones sucesivas, a partir de una población compuesta, la cual se integró a partir de cuatro fuentes de germoplasma de maíz amarillo, cruzadas en cadena, cuyo compuesto balanceado se manejó de manera aislada, practicando en él tres ciclos de recombinación. Los materiales de inicio fueron como sigue: dos versiones (semi-cristalino y semi-dentado) de una población denominada “Forrajero selección amarillo” (muestra inicial otorgada por la profesora-investigadora de la UAAAN, María Cristina Vega), otro denominado “Población segregante amarillo” (muestra otorgada por el profesor-investigador de la UAAAN, Daniel Sámano Garduño), el cuarto fue una población F3, derivada de un maíz amarillo comercial nacional.

De hecho, la formación de líneas se inició con 118 S1 (derivadas en el ciclo Primavera-Verano, 2006, en Buenavista, Saltillo, México), de las cuales se seleccionaron *per se* a 23. Al avanzar a S2, se lograron 92 líneas, y se seleccionaron 45. El nivel S3 se constituyó de 37 líneas, las cuales se cruzaron con tres probadores. Las cruza línea x probador fueron en número limitado, siendo muy escaso con el probador tres, P3 (que se descartó), y sólo 18 de las líneas tuvieron progenie en buena cantidad con los probadores P1 y P2. Estas cruza fueron las que se utilizaron en el ensayo descrito en este trabajo.

Los probadores P1 y P3 son las líneas CML-172 y CML-217, maíz amarillo, facilitadas por CIMMYT, en un otorgamiento de 2002, y manejadas en los programas

de investigación del IMM desde entonces. El probador P2 es una variedad sintética de grano amarillo, derivada de cuatro líneas grano amarillo, dos de CIMMYT, diferentes a P1 y P3, y dos líneas S2, derivadas de la población compuesta, denominada AN-0109aM#.

La denominación provisional de cada línea y los dos probadores utilizados, corresponde a la denominación de parcela en el ciclo P-V, 2016. Las líneas fueron utilizadas como hembras y los probadores como machos; evaluadas en dos ambientes, tomado en cuenta la fecha de siembra de cada experimento.

Descripción de la localidad de evaluación

La evaluación de las cruzas experimentales se realizó en las instalaciones del Bajío, correspondientes a terrenos para experimentos agrícolas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro durante el año de 2013. La ubicación del sitio de evaluación, se encuentra a una latitud norte de 25° 21' 22" y a una longitud oeste de 101° 02' 20 ", a una altura de 1788 msnm (Google Earth, tomada en fecha de noviembre, 2013).

Descripción de la parcela experimental

La siembra de los tratamientos se llevó a cabo en un diseño completamente al azar con dos repeticiones y en dos ambientes, señalados por la fecha de siembra, el primer ambiente se sembró el 06 de junio del 2014, y el segundo, en fecha 12 de julio del mismo año. En los dos ambientes, la parcela experimental constó de un surco de 4 m de longitud, distancia entre surcos de 80 cm, y entre

plantas de 16 cm. En las siguientes Figuras 3.1 y 3.2 se muestran las parcelas experimentales, cuyas imágenes fueron tomadas cuando el maíz se encontraba en etapas V2 y V4, respectivamente.



Figura 3.1 Establecimiento de la parcela experimental etapa V2



Figura 3.2 Parcela en etapa V4

Labores culturales

Las actividades de manejo del cultivo se realizaron conforme al ciclo vegetativo, dándole prioridad durante las primeras etapas de crecimiento y desarrollo del cultivo, de manera tal que el control fuera lo más homogéneo posible, y no interfiriera en las características experimentales.

Siembra: la siembra se llevó a cabo de manera manual, depositando 2 semillas por golpe a una distancia de 16 cm entre planta y planta, obteniendo 25 plantas por parcela útil.

Fertilización: la fórmula de fertilización que se aplicó fue de 110-80-00 donde al momento de la siembra se aplicó el 50 por ciento de Nitrógeno, y todo el Fósforo. El otro 50 % del Nitrógeno se aplicó al momento del cultivo.

Riegos: el número de riegos fue variable dependiendo de la necesidad y ajustándose a la precipitación pluvial, sin descuidar el suministro de agua en los periodos críticos pre-floración y floración y llenado de grano.

Control de malezas: se realizó a base del control cultural, eliminación manual y aporque de los surcos.

Control de plagas: para el control de plagas del suelo se utilizó Furadán granulado con 250 g por parcela útil, durante el desarrollo del cultivo se aplicó Lorsban 480 EM (Clorpirifos étil) para plagas foliares, todas las aplicaciones se realizaron de manera preventiva.

Cosecha: está actividad se realizó al terminar el ciclo de vida de la planta, cuando el porcentaje de humedad se consideró pertinente para cosecha, esta actividad se realizó parcela por parcela, pisando y ordenando las mazorcas por su aspecto, para tener la facilidad a la hora de tomar los datos como se muestra en la siguientes figuras.

En las Figuras 3.3, 3.4 y 3.5 se muestran los materiales en el proceso de cosecha.



Figura 3.3 Aspecto de mazorca



Figura 3.4 Demostración de parcela



Figura 3.5 Ordenamiento por aspecto

Variables agronómicas a evaluar

Floración masculina (FM), Floración femenina (FF): corresponden a los días transcurridos desde la siembra hasta el 50 por ciento de las plantas en la parcela experimental que presentaron anteras dehiscentes (floración masculina) y estigmas receptivos (floración femenina).

Altura de planta (AP). La medición en centímetros, corresponde desde la base de la planta hasta la hoja bandera.

Inserción de mazorca (IM). La medición en centímetros, corresponde desde la base de la planta hasta el nudo de inserción de mazorca superior.

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

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

Plorificidad (PLORIF). Expresada en porcentaje, corresponde al cociente que resulta al considerar número total de mazorcas en relación al número de plantas presentes.

Plantas con *Fusarium* (FP). 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.

Mazorca con *Fusarium* (FM). Expresado en porcentaje, corresponde al número de mazorcas por parcelas con manifestación fenotípica por la presencia del hongo.

Mala cobertura (MC). Expresada en porcentaje, corresponde al número de mazorcas que no completaron su cobertura para protección de la mazorca.

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

Humedad (H). Se estimó al momento de la cosecha, tomando una muestra de aproximadamente 200 g, de las mazorcas de cada parcela y se mide con el determinador de humedad Dickey- John, mini-GAC plus.

Peso de campo (PC). Expresada en kilogramos, corresponde al peso neto de la parcela útil, tomando en cuenta todas las mazorcas.

Rendimiento (REND). Este valor se obtuvo mediante la producción estimada por parcela experimental expresada en $t\ ha^{-1}$ con una humedad de grano de 15.5 %.

El dato de rendimiento por cruza se obtuvo al multiplicar el peso seco (PS) por un factor de conversión (FC). La expresión de estos dos términos es como sigue:

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

Donde:

%HUM= Porcentaje de humedad del grano a la cosecha

PC= Peso de campo en kilogramos.

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

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 pesos 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 m².

Análisis estadístico

Los híbridos experimentales se analizaron bajo un diseño completamente al azar, 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.

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = variable de respuesta

μ = efecto de la media general

t_i = efecto de la i -ésimo tratamiento

ε_{ij} = error experimental.

Conversión de datos

De acuerdo a los datos obtenidos en campo (datos directos), para las variables evaluadas como: Acame de tallo (AT), Acame de raíz (AR), *Fusarium* en planta (FP), *Fusarium* en mazorca (FM), Mazorcas podridas (MP), Mala cobertura (MC), etc. Siendo variables que se expresan en porciento pueden no tener una distribución normal, es por ello que se llevó a cabo la conversión de estos datos para poder ser explicados ajustándose de la siguiente manera:

$$\text{Valores} = \sqrt{(n + .5)}$$

Donde:

Valores: corresponden a los datos ajustados.

$\sqrt{\quad}$ = raíz cuadrada.

n = datos directos obtenidos en campo.

.5 = Constante de conversión

Análisis línea por probador

Los híbridos simples experimentales se dividen 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).

$$Y_{ij} = \mu + l_i + p_j + lp_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = variable de respuesta.

μ = efecto de la media general.

l_i = efecto de la i -ésima línea.

p_j = efecto del j -ésimo probador.

lp_{ij} = efecto del j -ésimo probador por la i -ésima línea.

ε_{ij} = error experimental.

Metodología utilizada para el cálculo de ACG de líneas y probadores

ACG líneas

$$L_i = \frac{x_i \dots}{pr} - \frac{x \dots}{lpr}$$

ACG probadores

$$P_j = \frac{x^j \dots}{lr} - \frac{x \dots}{prl}$$

Donde:

L_i = aptitud combinatoria de líneas; p_j = aptitud combinatoria de probadores; i = número de líneas; j = número de probadores; x_i = sumatoria de la i -ésima línea; x_j = sumatoria de j -ésimo probador, $x \dots$ = sumatoria total.

Criterios de selección

Para la selección de las líneas se consideró la aptitud combinatoria general (ACG) exhibida en los, 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 fueran positivas para cada una de éstas, en contraste, para elegir cuál 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).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el fin de ubicar las diferencias estadísticas entre los materiales genéticos (líneas y probadores), se presentan los resultados del análisis de varianza para los 36 híbridos para cada uno de los ambientes de evaluación, y el análisis combinado a través de ambientes. Estos análisis se complementan con un análisis genético línea por probador, para estimar efectos genéticos de líneas, probadores y la interacción entre ambos.

Para valorar el comportamiento de las líneas con determinado probador, en los Cuadros 4.1 y 4.2 se muestran los valores promedio de las variables evaluadas, separadas por ambientes. La expresión de cada híbrido es diferente dadas las condiciones particulares que se presentaron en cada ambiente, principalmente por efectos climáticos, que en algunos casos favorecieron y en otros afectaron el proceso experimental, pero al final de cuentas algunos híbridos mostraron consistencia en su expresión, lo que sugiere el comportamiento de varios de los materiales se debe mayormente a la expresión de su condición genotípica.

Cuadro 4.1 Promedio de las variables, por línea y probador, Ambiente 1.

| Línea | Probador | DFM | DFF | AP | IIM | AT | AR | FP | FM | MP | MC | REND |
|-------|-----------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| 2119 | 2105 | 80 | 81 | 243.5 | 48.9 | 0.5 | 0 | 0 | 1.5 | 0.5 | 1 | 13.1 |
| | 2107 | 81 | 82 | 227.5 | 48.4 | 3.5 | 0 | 0 | 2.5 | 4 | 1.5 | 12.7 |
| 2201 | 2105 | 84 | 85 | 237.5 | 49.3 | 6 | 1 | 0 | 2.5 | 4.5 | 1 | 12.2 |
| | 2107 | 82 | 83 | 244.5 | 51.6 | 0.5 | 0 | 0 | 4 | 3.5 | 1 | 12.6 |
| 2203 | 2105 | 77.5 | 78.5 | 204 | 62.4 | 6 | 0 | 5 | 1.5 | 2 | 1.5 | 9.0 |
| | 2107 | 79 | 80 | 225 | 53.6 | 2.5 | 0.5 | 0 | 4.5 | 5 | 2.5 | 9.5 |
| 2204 | 2105 | 81 | 82 | 206 | 49.8 | 3.5 | 0 | 0 | 8.5 | 3.5 | 4 | 9.3 |
| | 2107 | 80.5 | 81.5 | 229.5 | 49.0 | 2 | 0 | 1 | 4 | 1 | 4 | 12.1 |
| 2206 | 2105 | 84 | 84.5 | 234 | 50.1 | 0.5 | 0 | 0.5 | 3 | 0.5 | 0.5 | 12.7 |
| | 2107 | 81 | 82 | 245 | 56.3 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2.5 | 0.5 | 13.2 |
| 2209 | 2105 | 83.5 | 84.5 | 218 | 48.9 | 1.5 | 0 | 0 | 6.5 | 2 | 0.5 | 10.5 |
| | 2107 | 81.5 | 82.5 | 217.5 | 46.4 | 1 | 0 | 0 | 5.5 | 2.5 | 0.5 | 14.1 |
| 2214 | 2105 | 80.5 | 82.5 | 214.5 | 48.4 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2.5 | 0 | 11.7 |
| | 2107 | 85 | 85.5 | 214 | 51.6 | 0 | 0 | 1 | 6 | 3 | 7 | 17.3 |
| 2219 | 2105 | 84.5 | 85.5 | 224.5 | 45.6 | 1.5 | 0 | 0 | 8 | 3.5 | 4 | 11.5 |
| | 2107 | 82.5 | 83.5 | 229.5 | 50.7 | 0.5 | 0 | 0 | 1.5 | 1.5 | 1 | 12.3 |
| 2304 | 2105 | 82.5 | 83 | 224 | 46.2 | 1 | 0 | 0 | 6.5 | 3.5 | 0.5 | 13.1 |
| | 2107 | 81 | 82 | 250 | 51.6 | 1 | 0 | 0.5 | 5.5 | 2.5 | 3 | 13.9 |
| 2310 | 2105 | 83.5 | 84 | 215.5 | 52.2 | 1.5 | 0 | 0 | 4.5 | 4.5 | 1 | 9.4 |
| | 2107 | 78 | 78.5 | 243.5 | 50.9 | 0.5 | 0 | 0 | 4.5 | 1.5 | 1.5 | 16.9 |
| 2312 | 2105 | 81 | 82 | 228.5 | 47.7 | 1 | 0 | 0 | 10.5 | 3.5 | 2 | 10.2 |
| | 2107 | 78.5 | 79 | 240 | 47.5 | 0 | 0.5 | 0.5 | 2.5 | 2.5 | 1 | 12.6 |
| 2314 | 2105 | 83 | 84 | 245.5 | 51.3 | 1 | 0.5 | 1.5 | 1.5 | 5 | 2.5 | 8.8 |
| | 2107 | 80 | 81 | 241.5 | 51.3 | 1.5 | 0 | 2 | 6 | 3.5 | 1 | 12.7 |
| 2315 | 2105 | 82 | 83 | 229 | 48.5 | 1 | 0 | 2 | 8 | 5 | 1.5 | 10.7 |
| | 2107 | 84 | 84.5 | 238.5 | 48.6 | 0.5 | 0.5 | 2.5 | 2.5 | 0.5 | 1 | 12.8 |
| 2418 | 2105 | 83 | 82 | 243.5 | 48.6 | 2.5 | 0 | 6 | 2.5 | 3.5 | 10 | 11.8 |
| | 2107 | 81 | 81.5 | 231.5 | 53.5 | 1.5 | 0 | 1 | 2.5 | 2 | 7.5 | 12.6 |
| 2419 | 2105 | 82.5 | 85.5 | 196 | 51.6 | 3 | 1.5 | 1 | 2.5 | 2 | 4.5 | 7.9 |
| | 2107 | 83.5 | 84.5 | 222.5 | 52.2 | 7 | 1 | 5.5 | 4.5 | 2 | 1.5 | 10.2 |
| 2420 | 2105 | 82.5 | 83.5 | 217.5 | 52.7 | 0.5 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0.5 | 9.3 |
| | 2107 | 78 | 78.5 | 226 | 49.4 | 0.5 | 0 | 0 | 3 | 1.5 | 4.5 | 13.4 |
| 2421 | 2105 | 79.5 | 80.5 | 214 | 46.4 | 5 | 0 | 0.5 | 1.5 | 6.5 | 7 | 10.4 |
| | 2107 | 81 | 81.5 | 234 | 46.3 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 9 | 12.0 |
| 2503 | 2105 | 79 | 79.5 | 239.5 | 48.9 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2.5 | 0 | 13.6 |
| | 2107 | 81.5 | 81.5 | 213 | 49.8 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 13.9 |
| | Media general | 81.5 | 82.3 | 228.0 | 50.2 | 1.7 | 0.2 | 0.9 | 4.0 | 2.8 | 2.5 | 11.9 |
| | Desv. Estándar | 2.0 | 2.0 | 13.4 | 3.2 | 1.8 | 0.4 | 1.6 | 2.3 | 1.4 | 2.6 | 2.1 |

Cuadro 4.2 Promedio de las variables, por línea y probadores, Ambiente 2.

| Línea | Probador | DFM | DFF | AP | IIM | AT | AR | FP | FM | MP | MC | REND |
|-------|-----------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| 2119 | 2105 | 78 | 79 | 242.5 | 38.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.4 |
| | 2107 | 77 | 78 | 242 | 39.2 | 0.5 | 0 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0 | 11.7 |
| 2201 | 2105 | 81 | 82 | 260.5 | 38.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.3 |
| | 2107 | 80.5 | 83 | 242 | 34.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.1 |
| 2203 | 2105 | 84 | 85 | 184.5 | 36.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 7.8 |
| | 2107 | 82.5 | 83.5 | 225 | 42.7 | 0 | 0 | 0 | 2.5 | 0 | 0 | 9.4 |
| 2204 | 2105 | 82.5 | 83 | 222.5 | 43.5 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 10.4 |
| | 2107 | 78 | 79 | 217 | 38.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.9 |
| 2206 | 2105 | 84 | 87.5 | 214 | 43.2 | 0.5 | 0 | 0 | 7 | 0.5 | 0 | 6.8 |
| | 2107 | 81 | 82 | 237 | 47.2 | 0.5 | 0 | 0 | 1 | 0.5 | 0 | 11.4 |
| 2209 | 2105 | 78 | 81 | 193 | 35.8 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 7.9 |
| | 2107 | 76.5 | 77.5 | 235.5 | 37.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17.0 |
| 2214 | 2105 | 84.5 | 81.5 | 237.5 | 39.7 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 12.6 |
| | 2107 | 85.5 | 86.5 | 195 | 40.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10.3 |
| 2219 | 2105 | 78.5 | 79.5 | 240 | 44.3 | 0.5 | 0 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0 | 12.0 |
| | 2107 | 82 | 82.5 | 226 | 39.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13.5 |
| 2304 | 2105 | 81.5 | 82.5 | 208 | 39.2 | 0.5 | 0 | 0 | 2.5 | 0.5 | 0 | 9.5 |
| | 2107 | 79.5 | 80.5 | 240 | 39.0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 13.1 |
| 2310 | 2105 | 84 | 85 | 215 | 44.1 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 9.0 |
| | 2107 | 77.5 | 82.5 | 236.5 | 40.7 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 11.8 |
| 2312 | 2105 | 79 | 80 | 195.5 | 38.9 | 1 | 1.5 | 0 | 0 | 1 | 1.5 | 8.8 |
| | 2107 | 82.5 | 83.5 | 235.5 | 39.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.7 |
| 2314 | 2105 | 79.5 | 80.5 | 227 | 41.2 | 1.5 | 0 | 0 | 0.5 | 1.5 | 0 | 11.0 |
| | 2107 | 78 | 78.5 | 218.5 | 36.3 | 2.5 | 0 | 0 | 0 | 2.5 | 0 | 9.7 |
| 2315 | 2105 | 80.5 | 81.5 | 238.5 | 38.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10.4 |
| | 2107 | 79 | 80 | 242 | 43.7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 11.3 |
| 2418 | 2105 | 83.5 | 84.5 | 220 | 40.7 | 1 | 0 | 0 | 1.5 | 1 | 0 | 8.5 |
| | 2107 | 81.5 | 82.5 | 228 | 45.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.2 |
| 2419 | 2105 | 81.5 | 82.5 | 221 | 45.5 | 3.5 | 0 | 0 | 1 | 3.5 | 0 | 9.0 |
| | 2107 | 80.5 | 81.5 | 221 | 45.0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 11.5 |
| 2420 | 2105 | 81.5 | 82.5 | 214 | 38.7 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 9.7 |
| | 2107 | 78 | 79 | 223 | 41.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14.5 |
| 2421 | 2105 | 73 | 74 | 220 | 40.2 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 11.3 |
| | 2107 | 81.5 | 82.5 | 233.5 | 38.6 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 7.2 |
| 2503 | 2105 | 82.5 | 85 | 228 | 39.9 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 9.3 |
| | 2107 | 77.5 | 78.5 | 235 | 42.6 | 0.5 | 0 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0 | 11.6 |
| | Media general | 80.4 | 81.6 | 225.4 | 40.5 | 0.5 | 0.1 | 0.0 | 0.6 | 3.6 | 1.5 | 10.8 |
| | Desv. Estándar | 2.7 | 2.7 | 16.2 | 3.0 | 0.7 | 0.3 | 0.0 | 1.3 | 2.0 | 1.3 | 2.1 |

Para conocer el comportamiento general de las cruzas en cada uno de los ambientes se muestra al final de cada cuadro la media y la desviación estándar por variable. Como puede verse, los promedios para las primeras cuatro variables resultaron “mejores” en Ambiente 2, que en A1. En lo general, fueron un día más precoces, crecen lo mismo y la posición baja de la mazorca es más apreciable. En cuanto a sanidad, los promedios también resultaron mejor en el ambiente 2, presentando menos incidencia de *Fusarium* tanto en mazorca como en planta, menor porcentaje de acame en sus dos tipos; al respecto, es pertinente señalar que la mayor incidencia de acame en el Ambiente 1, pudo haber sucedido por las condiciones adversas del clima (lluvia y fuertes vientos en pleno llenado de mazorca). Una característica que se presentó con promedio inconveniente en Ambiente 2 fue el por ciento de mazorcas podridas. Parece interesante que el Ambiente 2, a pesar de representar siembras tardías, fuera de fechas recomendables, presentó promedios agrónomicamente mejores, y una menor variabilidad en los datos. El mejor mérito del Ambiente 1 fue que el promedio de rendimiento a través de cruzas fue una tonelada mayor que en Ambiente 2.

Análisis de varianza línea por probador Ambiente 1

Con el propósito de simplificar la alusión a las variables, y hacer comentarios más específicos, se consideró pertinente agrupar las variables, mencionándoles en bloques o grupos facilitando la identificación e interpretación de las mismas. Los grupos fueron integrados de la siguiente manera: variables de conformación morfológica, refiriéndose a las variables como: DFM, DFF, AP e IIM; de producción (REND), y de sanidad: AT, AR, FP, FM, MP y MC.

Los cuadrados medios y significancia para las fuentes de variación, relativas al Ambiente 1, en el conjunto de variables de respuesta, se muestran en el Cuadro 4.3. Como se puede observar, en la fuente de variación -líneas existe diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para las variables de conformación morfológica excepto IIM, y de sanidad en mala cobertura, siendo atribuido a que entre líneas existe gran diversidad y, por lo menos, alguna pudiera ser superior en este grupo, ya sea por su precocidad, morfología de planta, o sanidad. Esta última se refiere a un bajo valor en mala cobertura, siendo así un atractivo para poder ser seleccionado. De manera general, tomando en cuenta la sanidad en planta y mazorca, las líneas presentaron un comportamiento similar.

En cuanto a la fuente de variación -probador, las variables floración femenina y rendimiento presentaron altas diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$), mientras que las variables días a floración masculina y altura de planta sólo mostraron significancia al 5 %. Esto pudiera indicar que para estas variables, los probadores se muestran diferentes, por lo tanto uno es superior al otro, pudiéndose valorar como un probable discriminador de líneas, tomando como base al rendimiento como primer atributo de selección, y que además pueda utilizarse como progenitor de algunos híbridos. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Sierra *et al.* (2000) donde, al evaluar cuatro grupos de líneas, encontró una separación en grupos heteróticos con el uso de probadores, lo que sugirió que existe variación genética dentro de cada grupo y que los probadores efectivamente son diferentes por lo que de esta manera los probadores pueden utilizarse como buen discriminador de líneas sobresalientes.

La interacción -línea por probador como fuente de variación, presenta diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para las variables de conformación morfológica a excepción de AP e IIM, siendo así uno de los probadores pueda generar variabilidad en precocidad al cruzarse con las líneas. En cambio para el grupo sanidad no se encontraron diferencias estadísticas.

Dichos resultados en comparación con el trabajo de Sierra *et al.* (2000) en relación a las características agronómicas son similares obteniendo significancia para las variables de conformación morfológica y sanidad, de las cuales materiales precoces con buena sincronía floral importante para su mantenimiento en cruzamiento, de porte bajo en planta y mazorca ofreciendo ventajas desde el punto de vista fenotípico y tolerancia al acame característica importante a la presencia de fuertes vientos.

Es pertinente señalar que en los ANOVA para las variables que se registran en porcentaje (acames, mazorcas podridas, incidencia de *Fusarium* en planta y mazorca, mala cobertura) los Coeficientes de Variación resultaron muy altos. Esta condición que puede tener varias causas, entre ellas la falta de normalidad de los datos. Una opción para buscar una supuesta normalidad de este tipo de datos, es aplicar alguno de los métodos de transformación de datos, que toma los datos reales y los transforma en datos que se utilizan para aplicar el método de análisis de varianza. En este trabajo de tesis, a pesar de la aplicación de uno de los métodos de transformación (señalado en Materiales y Métodos), los C.V. rebasaron con mucho el límite convencional de 20 %.

Cuadro 4.3 Cuadrados medios del análisis de varianza línea por probador,

Ambiente 1.

| FV | GL | DFM Días | DFF Días | AP Cm | IIM % | REND Ton/Ha |
|----------------|----|-------------|-------------|----------|----------|----------------|
| LÍNEA | 17 | 8.24** | 10.33** | 431.88** | 27.50 | 8.45 |
| PROBADOR | 1 | 11.68* | 18** | 1058* | 7.20 | 86.77** |
| LÍNEA*PROBADOR | 17 | 6.97** | 5.61** | 241.52 | 13.26 | 4.34 |
| ERROR | 38 | 2.26 | 1.83 | 162.33 | 34.91 | 5.65 |
| CV | | 1.85 | 1.65 | 5.58 | 11.78 | 19.91 |
| MEDIA | | 81.46 | 82.31 | 228 | 50.17 | 11.94 |

*= Significante al $p \leq 0.05$, **= Altamente significativo al $p \leq 0.01$, FV= Fuentes de variación, GL= Grados de libertad, DFM= Días a floración masculina, DFF= Días a floración femenina, AP= Altura de planta (cm), IIM= Índice de inserción de mazorca (%) y REND= Rendimiento ($t\ ha^{-1}$).

Continuación del Cuadro 4.3

| FV | GL | AT % | AR % | FP % | FM % | MP % | MC % |
|----------------|----|---------|------------|---------|---------|---------|---------|
| LÍNEA | 17 | 3.53 | 0.43 | 2.31 | 2.17 | 1.58 | 6.91** |
| PROBADOR | 1 | 4.01 | 0.00000001 | 0.002 | 0.07 | 1.32 | 3.09 |
| LÍNEA*PROBADOR | 17 | 1.96 | 0.19 | 1.36 | 3.04 | 1.72 | 2.64 |
| ERROR | 38 | 2.18 | 0.36 | 2.48 | 2.61 | 2.07 | 1.14 |
| CV | | 68.36 | 67.49 | 111.07 | 43.08 | 45.78 | 39.42 |
| MEDIA | | 2.16 | 0.89 | 1.42 | 3.75 | 3.14 | 2.71 |

*= Significante al $p \leq 0.05$, **= Altamente significativo al $p \leq 0.01$, FV= Fuentes de variación, GL= Grados de libertad, AT= Acame de tallo (%), AR = Acame de raíz (%), FP= Fusarium en planta (%), FM= Fusarium en mazorca (%), MP= Mazorcas podridas (%) y MC= Mala cobertura (%).

Análisis de varianza línea por probador Ambiente 2

En el Cuadro 4.4 se presenta el análisis de varianza para las variables de respuesta en el Ambiente 2. Tomando en cuenta las variables con más expresión tenemos que, Acame de Raíz presentó alta significancia ($p \leq 0.01$) en las tres fuentes de variación (Línea, probador e interacción). La diferencia causada para esta variable es debido a la diversidad genética entre líneas, probadores y la expresión al formar las cruzas entre ellas, así también se puede atribuir al comportamiento del ambiente como la lluvia con ráfagas de viento fuerte suscitadas durante el desarrollo de los experimentos. Por otra parte, la variable REND fue ($p \leq 0.01$) en la fuente “probador” esto debido al valor genético que tiene cada probador tomando en cuenta la procedencia de los probadores, la superioridad en uno de ellos puede deberse a la buena compatibilidad que tiene con las líneas. En cuanto a la variable IIM fue ($p \leq 0.01$) para la fuente -líneas, la diferencia de dicha variable tiene mucho que ver con el Ambiente, asumiendo la interacción genotipo – ambiente, además de la diversidad genética de las líneas, tal es el caso de la variable MC para dicha fuente que es significativa al ($p \leq 0.05$).

Como puede observarse en el Cuadro 4.4, los C. V. relativos a las variables de medidas en porcentaje mostraron valores altos, a pesar de la transformación aplicada, por lo que debe decirse que los datos sobre ellas no son del todo confiables, tal vez, por el tamaño pequeño de la experimentación entre otros.

Por otra parte, cabe mencionar que a la variable *Fusarium* en planta (FP) para el Ambiente 2 no se encontró incidencia alguna, ya que las condiciones fueron distintas que para el A1.

Cuadro 4.4 Cuadrados medios del análisis de varianza línea por probador, Ambiente 2.

| FV | GL | DFM Días | DFF Días | AP Cm | IIM % | REND Ton/Ha |
|----------------|----|-------------|-------------|----------|----------|----------------|
| LÍNEA | 17 | 16.67 | 15.27 | 496.92 | 24.87** | 5.41 |
| PROBADOR | 1 | 19.01 | 13.35 | 1266.72 | 1.86 | 64.43** |
| LÍNEA*PROBADOR | 17 | 12.16 | 14.35 | 507.69 | 12.92 | 0.09 |
| ERROR | 38 | 21.18 | 22.96 | 421.94 | 7.96 | 5.31 |
| CV | | 5.72 | 5.87 | 9.11 | 6.97 | 21.29 |
| MEDIA | | 80.43 | 81.60 | 225.39 | 40.49 | 10.83 |

*= Significante al $p \leq 0.05$, **= Altamente significativo al $p \leq 0.01$ de probabilidad, FV= Fuentes de variación, GL= Grados de libertad, DFM= Floración masculina, DFF= Floración femenina, AP= Altura de planta (cm), IIM= Índice de inserción de mazorca y REND= Rendimiento ($t\ ha^{-1}$).

Continuación del Cuadro 4.4

| FV | GL | AT % | AR % | FP % | FM % | MP % | MC % |
|--------------------|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| LÍNEA | 17 | 0.94 | 0.20** | 0 | 1.43 | 2.48 | 2.77* |
| PROBADOR | 1 | 1.84 | 0.35** | 0 | 0.77 | 5.93 | 1.50 |
| LÍNEA*PROBADO R | 17 | 0.39 | 0.35** | 0 | 1.05 | 2.20 | 1.15 |
| ERROR | 38 | 1.14 | 0.04 | 0 | 1.05 | 2.12 | 1.49 |
| CV | | 89.95 | 24.60 | 0 | 94.27 | 41.00 | 55.44 |
| MEDIA | | 1.19 | 0.78 | 0 | 1.27 | 3.55 | 2.20 |

*= Significante al $p \leq 0.05$, **= Altamente significativo al $p \leq 0.01$ de probabilidad, FV= Fuentes de variación, GL= Grados de libertad, AT= Acame de tallo (%), AR= Acame de raíz (%), FP= *Fusarium* en planta (%), FM= *Fusarium* en mazorca (%), MP= Mazorcas podridas (%) y MC= Mala cobertura (%).

Análisis de varianza combinado

Con el propósito de comparar los ambientes evaluados, en el Cuadro 4.5 se muestra el análisis de varianza combinado. Tomando en cuenta el grupo de conformación morfológica la variable AP fue ($p \leq 0.01$) para líneas y probadores, significativo al ($p \leq 0.05$) para la interacción línea x probador. Dicha expresión se pudiera deber a la condición genética de los materiales, tomando en cuenta que las líneas se encuentran en S3 expresando así más variabilidad por el nivel de heterogeneidad que aun presentan. Las variables DFM e IIM presentaron diferencias al ($p \leq 0.05$) para ambientes y líneas respectivamente, en cuestión de precocidad masculina existe diferencia por un día para el A2, las diferencias obtenidas en IIM para líneas depende de la variabilidad genética que tienen las líneas, tomando una mejor posición de mazorca para el Ambiente 2, de tal manera que para esta variable en fuente de variación -Ambiente presentó diferencias al ($p \leq 0.01$).

En cuanto a producción, la variable REND expresó significancia al ($p \leq 0.01$) y ($p \leq 0.05$) para -probador y -ambiente respectivamente. Bien se sabe que los probadores se comportaron de manera distinta en ambos ambientes, siendo uno el más atractivo y superior al otro, lo que atribuye a que cada probador tiene características genóticas y fenotípicas propias y diferentes lo cual permitirá la identificación de aquellos que exhiban el mayor potencial genético para ser progenitores de nuevos híbridos, esto probablemente tiene que ver con la capacidad que muestran los probadores para la discriminar de líneas.

Cuadro 4.5 Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de 36 híbridos, formados a partir de 18 líneas con dos probadores y 2 ambientes diferentes.

| FV | GL | DFM Días | DFF Días | AP Cm | IIM % | REND Ton/Ha |
|----------------|-----|-------------|-------------|-----------|-----------|----------------|
| AMBIENTE | 1 | 38.02* | 18.06 | 245.44 | 3373.70** | 44.96* |
| LÍNEA | 17 | 13.41 | 12.85 | 723.07** | 34.10* | 9.05 |
| PROBADOR | 1 | 30.25 | 31.17 | 2320.02** | 8.19 | 150.37** |
| LÍNEA*PROBADOR | 17 | 12.22 | 12.04 | 471.74* | 10.64 | 7.03 |
| ERROR | 106 | 10.82 | 10.68 | 273.39 | 19.8 | 5.45 |
| CV | | 4.06 | 3.98 | 7.29 | 9.81 | 20.51 |
| MEDIA | | 80.94 | 81.95 | 226.69 | 45.33 | 11.38 |

**= Significante al (0.01 y 0.05) de probabilidad, FV= Fuentes de variación, GL= Grados de libertad, DFM= Días a floración masculina, DFF= Días a floración femenina, AP= Altura de planta, IIM= Índice de inserción de mazorca y REND= Rendimiento (t /ha-1).

Para el agrupamiento de sanidad, a excepción de AR y MP, el comportamiento para la fuente de variación -ambiente presentó diferencias al ($p \leq 0.01$) y ($p \leq 0.05$). Es claro que existe gran diferencia entre los ambientes, el hecho de cambiar la fecha de siembra para determinar un ambiente, la expresión de los híbridos en parte dependió de un ambiente distinto, ya que las condiciones adversas se presentaron con más intensidad en el Ambiente 1, siendo más vulnerable por la etapa de desarrollo en que se encontraba, las incidencias se presentaron con más frecuencia y aún con tal afectación fue el ambiente donde se obtuvo mayor rendimiento por diferencia de una tonelada. En comparación con los resultados obtenidos por Mendoza *et al.* (2011) donde encontraron efectos de interacción ambiental al observar cambios significativos en el comportamiento

ambiental para poblaciones de maíz. De manera similar, Quiroz (2006) reportó en su trabajo de tesis realizado, al evaluar efectos genéticos y desempeño agronómico como criterios de selección para líneas, probadores e híbridos experimentales en dos ambientes, obteniendo diferencias para ambientes al 1 % de probabilidad para todas las variables evaluadas como: DFM, DFF, AP, IIM, REND, etc. atribuyendo así a que las diferencias se debieron a que las localidades de evaluación no presentan las mismas condiciones climáticas, edáficas y prácticas de manejo.

En cuanto a la variable MC presentó diferencia al ($p \leq 0.01$) para -línea como fuente de variación, el comportamiento es claro que dentro de las líneas existe gran diferencia de acuerdo a la capacidad genética de cada una de ellas.

Continuación del Cuadro 4.5

| FV | GL | AT % | AR % | FP % | FM % | MP % | MC % |
|----------------|-----|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| AMBIENTE | 1 | 33.81** | 0.42 | 18.12** | 220.89** | 5.87 | 9.25* |
| LÍNEA | 17 | 2.37 | 0.36 | 1.15 | 1.85 | 2.65 | 7.48** |
| PROBADOR | 1 | 5.64 | 0.17 | 0.001 | 0.64 | 6.41 | 0.14 |
| LÍNEA*PROBADOR | 17 | 1.28 | 0.09 | 0.67 | 1.9 | 2.05 | 2.16 |
| ERROR | 106 | 1.63 | 0.22 | 1.12 | 1.99 | 1.9 | 1.5 |
| CV | | 76.3 | 56.93 | 99.87 | 56.16 | 41.27 | 50.45 |
| MEDIA | | 1.67 | 0.83 | 1.06 | 2.51 | 3.34 | 2.45 |

**= Significante al (0.01 y 0.05) de probabilidad, FV= Fuentes de variación, GL= Grados de libertad, AT= Acame de tallo, AR= Acame de raíz (%), FP= *Fusarium* en planta (%), FM= *Fusarium* en mazorca (%), MP= Mazorca podrida (%) y MC= Mala cobertura (%)

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

El Cuadro 4.6 muestra las estimaciones de los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) para cada una de las líneas, se realizó con el objetivo de obtener la respuesta de cada una de ellas en la formación de híbridos.

Con base a la información que se presenta en el Cuadro, los primeros cuatro lugares que corresponden a las líneas 1° (2214), 2° (2119), 3° (2304) y 4to (2209) aunque no presentaron significancia estadística, los valores de aptitud combinatoria general fueron positivos de acuerdo a la media de rendimiento, por lo tanto estas líneas con determinados probadores tienen la capacidad de expresar su potencial genético. Es importante mencionar que estos genotipos tienen la capacidad de generar progenitores de futuros híbridos o variedades sintéticas. Así también, conforme a las demás variables de evaluación, se pudo detectar que estas líneas expresan buena aptitud general en cuanto a la sanidad. Lo anterior sugiere un tipo de acción génica aditiva, lo que puede ser aprovechado en la generación de sintéticos (Márquez, 1988; y Reyes, 1985).

La línea (2214) muestra significancia al (0.05) de probabilidad para la variable días a floración masculina (DFM) indicando que esta línea al cruzarse pueda generar materiales tardíos, por otra parte la línea (2201) muestra significancia al (0.01) de probabilidad para la variable altura de planta (AP) donde expone gran altura, la línea (2419) expone alta significancia ($P \leq 0.01$) para la variable acame de tallo (AT) con valor positivo, lo que indica que este material tiene problemas para mantenerse vertical, característica que puede heredarse. Por último, las líneas que mostraron significancia al ($p \leq 0.01$) para la variable mala

cobertura MC) fueron (2418 y 2421) que tienen esta característica desfavorable y que al combinarse con otras líneas pudiera ser capaces de heredar esta mala característica a la progenie. Una de las variables con mayor significancia al ($p \leq 0.01$) para las líneas (2310, 2418, 2206, 2419 y 2203) es el índice de inserción de mazorca, aunque no rebasa más de la mitad de la altura de la planta, la media se encuentra por debajo del 50 %, por lo tanto, aun siendo significativos, estos materiales no son tan desfavorables.

Cuadro 4.6 Aptitud combinatoria general (ACG) de las 18 líneas con base a su rendimiento.

| APTITUD COMBINATORIA GENERAL DE LINEAS | | | | | | | | | |
|--|-------|---------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Clave de las líneas | DFM | AP | IIM | AT | FP | FM | MP | MC | REND |
| 2214 | 2.93* | -11.44 | -0.36 | -0.97 | -0.08 | -0.04 | -0.18 | -0.42 | 1.60 |
| 2119 | -1.94 | 12.18 | -1.69 | 0.14 | -0.35 | -0.65 | -0.61 | -0.07 | 1.10 |
| 2304 | 0.18 | 3.81 | -1.35 | 0.11 | -0.18 | 1.05 | -0.64 | -0.64 | 1.02 |
| 2209 | -1.07 | -10.69 | -3.28 | -0.16 | -0.35 | 0.22 | 0.21 | -0.77 | 0.98 |
| 2219 | 0.93 | 3.31 | -0.22 | -0.16 | -0.35 | -0.07 | -0.32 | -0.18 | 0.96 |
| 2503 | -0.82 | 2.18 | -0.05 | -0.34 | -0.08 | -0.70 | 0.07 | -0.75 | 0.71 |
| 2201 | 0.93 | 19.43** | -1.95 | 0.13 | -0.35 | -0.35 | 0.85 | -0.39 | 0.40 |
| 2310 | -0.19 | 0.93 | 1.68** | -0.26 | -0.35 | 0.08 | 0.17 | -0.85 | 0.38 |
| 2420 | -0.94 | -6.57 | 0.17 | -0.44 | -0.08 | -0.58 | -0.55 | 0.03 | 0.35 |
| 2315 | 0.43 | 10.31 | -0.55 | -0.52 | 0.66 | 0.42 | -0.14 | -0.41 | -0.07 |
| 2418 | 1.31 | 4.06 | 1.77** | 0.24 | 0.70 | -0.16 | -0.01 | 2.36** | -0.10 |
| 2204 | -0.44 | -7.94 | -0.09 | 0.36 | -0.08 | 0.38 | -0.66 | 0.07 | -0.21 |
| 2206 | 1.56 | 5.81 | 3.85** | -0.44 | -0.18 | 0.82 | -0.98 | -1.04 | -0.35 |
| 2312 | -0.69 | -1.82 | -1.88 | -0.34 | -0.18 | 0.19 | 0.88 | -0.32 | -0.55 |
| 2314 | -0.82 | 6.43 | -0.30 | 0.49 | 0.42 | -0.23 | 0.77 | 0.10 | -0.85 |
| 2421 | -2.19 | -1.32 | -2.45 | 0.05 | -0.18 | -0.52 | 0.85 | 2.42** | -1.18 |
| 2419 | 1.06 | -11.57 | 3.23** | 1.49** | 0.67 | -0.02 | 0.33 | 0.54 | -1.74 |
| 2203 | -0.19 | -17.07 | 3.43** | 0.61 | 0.35 | 0.16 | -0.01 | 0.31 | -2.45 |

**= Altamente significativo al ($P \leq 0.01$), *= Significativo al ($P \leq 0.05$)

Selección de probadores para emplearse como progenitores de híbridos o para discriminar líneas por su efecto de ACG

En el Cuadro 4.7 se muestran los valores de aptitud combinatoria general de los probadores. Para las variables altura de planta y rendimiento del Probador 2 (2107), se muestra altamente significativo ($p \leq 0.01$) con valores positivos, lo que permite mencionar que al cruzar las líneas con este probador genera individuos con un buen potencial de rendimiento lo cual es el objetivo primordial en el proceso de mejoramiento genético, además puede ser utilizado en la generación de híbridos con buenos efectos agronómicos aunque expresa gran altura.

En cambio el Probador 1 (2105), mostró efectos agronómicamente desfavorables para las variables por lo tanto puede ser utilizado como un buen discriminador de líneas, ya que no enmascara el potencial genético de las mismas.

Cuadro 4.7 Aptitud combinatoria general de los probadores para cada una de las variables estudiadas.

| APTITUD COMBINATORIA GENERAL DE LOS PROBADORES | | | | | | | | | | | |
|--|-------|------|------|--------|------|------|------|-------|------|-----|--------|
| PROBADOR | CLAVE | DFM | DFF | AP | AT | AR | MC | FP | FM | MP | REND |
| 1 | 2105 | 0.45 | 0.46 | -4.01 | 0.19 | 0.03 | - | - | 0.06 | 0.2 | -1.02 |
| 2 | 2107 | - | - | 4.01** | - | - | 0.03 | 0.002 | - | - | 1.02** |
| | | 0.45 | 0.46 | | 0.19 | 0.03 | | | 0.06 | 0.2 | |

** = Altamente significativo al ($p \leq 0.01$)

Selección de las mejores cruzas por su aptitud combinatoria específica (ACE) de las 18 líneas con los 2 probadores respecto al rendimiento.

En el Cuadro 4.8 se muestran los valores de ACE de cada uno de las líneas con su respectivo probador, dichos valores exhiben aquellas mejores cruzas tomando en cuenta las variables agronómicas más importantes para dicha evaluación.

El híbrido 24 que corresponde a la cruce (2209 X 2107), en la variable rendimiento muestra una alta significancia ($p \leq 0.01$) lo que indica que el potencial de la cruce es bastante interesante, por otro lado en las demás variables tiene valores negativos, expresando esta cruce además de tener un potencial de rendimiento alto, tiene importantes atributos de sanidad, que es otro criterio relevante a la hora de hacer selección, aunque no muestra significancia en las demás variables teniendo un efecto igual a cero, la importancia es que tiene buena sanidad, además es un material que muestra precocidad y la altura por arriba de la media.

Por otra parte las cruces de los híbridos (17, 28, 1 y 34) aunque no muestran significancia, tienen valores positivos en rendimiento lo que nos indica que también existe la posibilidad de hacer selección en estas líneas. En las demás variables muestran que son materiales precoces, un tanto sanos y altura por encima de la media. Estos resultados en comparación a los obtenidos por Sierra *et al.*, (2000) donde muestra valores significativos para combinaciones específicas dándole más importancia a estos valores para la generación de híbridos por un tipo de acción génica desviación de la aditividad que puede ser aprovechado.

Cuadro 4.8 Aptitud combinatoria específica (ACE) de las cruzas para cada una de las variables evaluadas.

| VALORES DE APTITUD COMBINATORIA ESPECÍFICA (ACE) | | | | | | | | | | |
|--|-------|----------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| HIB | LÍNEA | PROBADOR | DFM | AP | AT | FP | FM | MP | MC | REND |
| 24 | 2209 | 2107 | -0.417 | 6.486 | -0.056 | -0.003 | -0.076 | -0.314 | -0.109 | 2.15648** |
| 17 | 2421 | 2105 | -2.958 | -4.361 | 0.822 | 0.180 | -0.646 | 0.128 | 0.279 | 1.632 |
| 28 | 2310 | 2107 | -2.542 | 8.361 | -0.156 | -0.003 | 0.244 | -0.434 | 0.322 | 1.559 |
| 1 | 2119 | 2105 | -0.458 | 8.139 | -0.952 | 0.003 | -0.520 | -0.979 | 0.097 | 1.302 |
| 34 | 2420 | 2107 | -1.542 | 0.361 | 0.021 | -0.279 | 0.232 | 0.087 | 0.335 | 1.181 |
| 2 | 2201 | 2105 | 0.167 | 6.889 | 0.548 | 0.003 | -0.269 | -0.224 | 0.131 | 0.994 |
| 3 | 2203 | 2105 | -0.458 | -11.361 | 0.189 | 0.710 | -0.770 | 0.168 | -0.421 | 0.477 |
| 8 | 2219 | 2105 | -0.833 | 6.264 | 0.255 | 0.003 | 0.958 | 0.208 | 0.693 | 0.459 |
| 18 | 2503 | 2105 | 0.167 | 8.889 | -0.474 | -0.273 | 0.135 | -0.220 | 0.131 | 0.393 |
| 12 | 2314 | 2105 | 0.667 | 7.139 | -0.400 | -0.063 | -0.580 | -0.211 | 0.981 | 0.376 |
| 22 | 2204 | 2107 | -0.792 | 0.486 | -0.023 | 0.273 | -0.508 | -0.509 | 0.531 | 0.319 |
| 29 | 2312 | 2107 | 0.708 | 8.861 | -0.432 | 0.174 | -0.669 | -0.507 | 0.204 | 0.288 |
| 13 | 2315 | 2105 | -0.583 | 0.764 | -0.099 | -0.174 | 0.196 | 0.832 | 0.308 | 0.260 |
| 23 | 2206 | 2107 | -1.042 | 4.486 | 0.021 | -0.180 | -0.397 | 0.967 | 0.322 | 0.260 |
| 7 | 2214 | 2105 | -1.833 | 14.764 | -0.198 | -0.273 | -0.417 | -0.708 | -1.300 | 0.201 |
| 33 | 2419 | 2107 | 0.458 | 2.611 | 0.199 | 0.467 | -0.115 | 0.250 | -0.511 | 0.172 |
| 32 | 2418 | 2107 | -0.542 | -5.014 | -0.103 | -0.509 | -0.386 | -0.371 | -0.366 | 0.083 |
| 27 | 2304 | 2107 | -0.417 | 10.486 | 0.220 | 0.174 | -0.238 | -0.175 | 0.170 | 0.077 |
| 9 | 2304 | 2105 | 0.417 | -10.486 | -0.220 | -0.174 | 0.238 | 0.175 | -0.170 | -0.077 |
| 14 | 2418 | 2105 | 0.542 | 5.014 | 0.103 | 0.509 | 0.386 | 0.371 | 0.366 | -0.083 |
| 15 | 2419 | 2105 | -0.458 | -2.611 | -0.199 | -0.467 | 0.115 | -0.250 | 0.511 | -0.172 |

Continuación del Cuadro 4.8

| HIB | LÍNEAS | PROBADORES | DFM | AP | AT | FP | FM | MP | MC | REND |
|-----|--------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|
| 25 | 2214 | 2107 | 1.833 | - 14.764 | 0.198 | 0.273 | 0.417 | 0.708 | 1.300 | -0.201 |
| 5 | 2206 | 2105 | 1.042 | -4.486 | - 0.021 | 0.180 | 0.397 | - 0.967 | - 0.322 | -0.260 |
| 31 | 2315 | 2107 | 0.583 | -0.764 | 0.099 | 0.174 | - 0.196 | - 0.832 | - 0.308 | -0.260 |
| 11 | 2312 | 2105 | - 0.708 | -8.861 | 0.432 | - 0.174 | 0.669 | 0.507 | - 0.204 | -0.288 |
| 4 | 2204 | 2105 | 0.792 | -0.486 | 0.023 | - 0.273 | 0.508 | 0.509 | - 0.531 | -0.319 |
| 30 | 2314 | 2107 | - 0.667 | -7.139 | 0.400 | 0.063 | 0.580 | 0.211 | - 0.981 | -0.376 |
| 36 | 2503 | 2107 | - 0.167 | -8.889 | 0.474 | 0.273 | - 0.135 | 0.220 | - 0.131 | -0.393 |
| 26 | 2219 | 2107 | 0.833 | -6.264 | - 0.255 | - 0.003 | - 0.958 | - 0.208 | - 0.693 | -0.459 |
| 21 | 2203 | 2107 | 0.458 | 11.361 | - 0.189 | - 0.710 | 0.770 | - 0.168 | 0.421 | -0.477 |
| 20 | 2201 | 2107 | - 0.167 | -6.889 | - 0.548 | - 0.003 | 0.269 | 0.224 | - 0.131 | -0.994 |
| 16 | 2420 | 2105 | 1.542 | -0.361 | - 0.021 | 0.279 | - 0.232 | - 0.087 | - 0.335 | -1.181 |
| 19 | 2119 | 2107 | 0.458 | -8.139 | 0.952 | - 0.003 | 0.520 | 0.979 | - 0.097 | -1.302 |
| 10 | 2310 | 2105 | 2.542 | -8.361 | 0.156 | 0.003 | - 0.244 | 0.434 | - 0.322 | -1.559 |
| 35 | 2421 | 2107 | 2.958 | 4.361 | - 0.822 | - 0.180 | 0.646 | - 0.128 | - 0.279 | -1.632 |
| 6 | 2209 | 2105 | 0.417 | -6.486 | 0.056 | 0.003 | 0.076 | 0.314 | 0.109 | -2.156 |

** = Altamente significativo, HIB = Híbridos, DFM = Días a floración masculina, AP = altura de planta, AT = Acame de tallo, FP = *Fusarium* en planta, FM = *Fusarium* en mazorca, MP = Mazorcas podridas, MC = Mala cobertura y REND = Rendimiento.

Valores promedio de las líneas con los probadores tomando en cuenta las variables de mayor interés

Para visualizar mejor la posible selección de las mejores líneas y ver el comportamiento que tienen al cruzarse con determinado probador, en el Cuadro 4.9 se muestran las medias de cada una de las variables de mayor interés agronómico.

Cuadro 4.9 Media de las líneas con cada probador para las variables de mayor interés.

| LÍNEA | PROBADOR | DFM | AP | IIM | MP | MC | REND |
|-------|----------|------|-------|-------|-----|-----|------|
| 2119 | 2105 | 79 | 243 | 43.49 | 1.9 | 2.4 | 12.7 |
| 2119 | 2107 | 79 | 234.7 | 43.8 | 3.5 | 2.3 | 12.2 |
| 2201 | 2105 | 82.5 | 249 | 43.7 | 4.1 | 2.1 | 11.7 |
| 2201 | 2107 | 81.2 | 243.2 | 42.9 | 4.2 | 1.9 | 11.8 |
| 2203 | 2105 | 80.7 | 194.2 | 49.42 | 3.7 | 2.3 | 8.3 |
| 2203 | 2107 | 80.7 | 225 | 48.1 | 2.9 | 3.2 | 9.48 |
| 2204 | 2105 | 81.7 | 214.2 | 46.6 | 3.4 | 1.9 | 9.84 |
| 2204 | 2107 | 79.2 | 223.2 | 43.8 | 1.9 | 3.0 | 12.5 |
| 2206 | 2105 | 84 | 224 | 46.6 | 1.6 | 1.0 | 9.7 |
| 2206 | 2107 | 81 | 241 | 51.7 | 3.1 | 1.7 | 12.3 |
| 2209 | 2105 | 80.7 | 205.5 | 42.3 | 4.0 | 1.7 | 9.1 |
| 2209 | 2107 | 79 | 226.5 | 41.8 | 3.0 | 1.6 | 15.5 |
| 2214 | 2105 | 82.5 | 226 | 44.0 | 2.6 | 0.7 | 12.1 |
| 2214 | 2107 | 85.2 | 204.5 | 45.8 | 3.6 | 3.3 | 13.8 |
| 2219 | 2105 | 81.5 | 232.2 | 44.9 | 3.4 | 2.9 | 11.7 |
| 2219 | 2107 | 82.2 | 227.7 | 45.2 | 2.6 | 1.6 | 12.9 |
| 2304 | 2105 | 82 | 216 | 42.7 | 3.0 | 1.6 | 11.3 |
| 2304 | 2107 | 80.2 | 245 | 45.2 | 2.3 | 2.0 | 13.5 |
| 2310 | 2105 | 83.7 | 215.2 | 48.1 | 4.1 | 1.2 | 9.1 |
| 2310 | 2107 | 77.7 | 240 | 45.8 | 2.8 | 1.9 | 14.3 |
| 2312 | 2105 | 80 | 212 | 43.3 | 4.9 | 1.9 | 9.5 |
| 2312 | 2107 | 80.5 | 237.7 | 43.6 | 3.5 | 2.3 | 12.1 |

Continuación del Cuadro 4.9

| LÍNEA | PROBADOR | DFM | AP | IIM | MP | MC | REND |
|-------|----------|------|-------|------|-----|-----|------|
| 2314 | 2105 | 81.2 | 236.2 | 46.2 | 4.1 | 3.5 | 9.8 |
| 2314 | 2107 | 79 | 230 | 43.8 | 4.1 | 1.6 | 11.1 |
| 2315 | 2105 | 81.2 | 233.7 | 43.4 | 4.2 | 2.3 | 10.5 |
| 2315 | 2107 | 81.5 | 240.2 | 46.1 | 2.1 | 1.7 | 12.0 |
| 2418 | 2105 | 83.2 | 231.7 | 44.6 | 3.8 | 5.1 | 10.1 |
| 2418 | 2107 | 81.2 | 229.7 | 49.5 | 2.7 | 4.4 | 12.3 |
| 2419 | 2105 | 82 | 208.5 | 48.5 | 3.6 | 3.4 | 8.4 |
| 2419 | 2107 | 82 | 221.7 | 48.6 | 3.7 | 2.5 | 10.8 |
| 2420 | 2105 | 82 | 215.7 | 45.6 | 2.9 | 2.1 | 9.5 |
| 2420 | 2107 | 78 | 224.5 | 45.3 | 2.6 | 2.8 | 13.9 |
| 2421 | 2105 | 76.2 | 217 | 43.2 | 4.5 | 5.1 | 10.8 |
| 2421 | 2107 | 81.2 | 233.7 | 42.5 | 3.8 | 4.6 | 9.5 |
| 2503 | 2105 | 80.7 | 233.7 | 44.4 | 3.4 | 1.8 | 1.4 |
| 2503 | 2107 | 79.5 | 224 | 46.1 | 3.4 | 1.6 | 12.7 |

DFM = Días a floración masculina (Días), AP = Altura de planta (cm), IIM = Índice de inserción de mazorca (%), MP = Mazorcas podridas (%), MC = Mala cobertura (%) y REND = Rendimiento (Ton/Ha⁻¹).

Concentración de las mejores 5 líneas respecto al valor obtenido de ACG

Para poder identificar aquellas líneas de buen comportamiento de acuerdo a la expresión en el rendimiento con determinado probador, en el siguiente Cuadro 4.10 se muestran las mejores 5 líneas tomando como referencia la aptitud combinatoria general (ACG) concentrando así los datos respecto a la media de cada variable de interés.

Cuadro 4.10 Concentración de las mejores 5 líneas respecto al comportamiento de ACG, tomando en cuenta las variables de mayor interés y su media respectivamente.

| COMPORTAMIENTO DE LAS MEJORES 5 LÍNEAS ‡ | | | | | | | |
|--|----------|------|---------|---------|--------|--------|-------------------------|
| LÍNEA | PROBADOR | DFM | AP (cm) | IIM (%) | MP (%) | MC (%) | REND t ha ⁻¹ |
| 2214 | 2105 | 82.5 | 226 | 44 | 2.6 | 0.7 | 12.1 |
| 2214 | 2107 | 85.2 | 204.5 | 45.8 | 3.6 | 3.3 | 13.8 |
| 2119 | 2105 | 79 | 243 | 43.4 | 1.9 | 2.4 | 12.7 |
| 2119 | 2107 | 79 | 234.7 | 43.8 | 3.5 | 2.32 | 12.2 |
| 2304 | 2105 | 82 | 216 | 42.7 | 3 | 1.6 | 11.3 |
| 2304 | 2107 | 80.2 | 245 | 45.2 | 2.3 | 2 | 13.5 |
| 2209 | 2105 | 80.7 | 205.5 | 42.3 | 4 | 1.7 | 9.1 |
| 2209 | 2107 | 79 | 226.5 | 41.8 | 3.0 | 1.6 | 15.5 |
| 2219 | 2105 | 81.5 | 232.2 | 44.9 | 3.4 | 2.9 | 11.7 |
| 2219 | 2107 | 82.2 | 227.7 | 45.2 | 2.6 | 1.6 | 12.9 |

‡ Nota: Valores tomado de la media de cada crusa para la variable correspondiente.

DFM = Días a floración masculina, AP = Altura de planta, IMM = Índice de inserción de mazorca, MP = Mazorca podrida, MC= Mala cobertura y REND = Rendimiento.

Referencia de las mejores líneas con respecto a la media general de cada variable.

Como una manera de conocer más detalladamente las mejores líneas de acuerdo al comportamiento general de cada material, en el siguiente cuadro 4.11 se hace referencia a las líneas de mayor expresión con determinado probador y el valor puesto fue determinado en cuanto al valor original (+, -) la media general respectivamente a cada variable de mayor interés, de esta manera se puede observar y concluir con más bases a los futuros progenitores de variedades o híbridos de maíz amarillo para la región Sureste de Coahuila.

Cuadro 4.11 Referencia de las mejores líneas en cuanto al comportamiento general para las variables de mayor interés.

| CUADRO DE REFERENCIA A LA MEDIA GENERAL DE CADA VARIABLE | | | | | | | |
|--|----------|-----|-----|-----|----|----|-------|
| LÍNEA | PROBADOR | DFM | AP | IIM | MP | MC | REND |
| 2214 | 2105 | 1 | 0 | -1 | 0 | -2 | 0.78 |
| 2214 | 2107 | 4 | -22 | 1 | 1 | 1 | 2.45 |
| 2119 | 2105 | -2 | 17 | -2 | -1 | 0 | 1.39 |
| 2119 | 2107 | -2 | 9 | -1 | 1 | 0 | 0.83 |
| 2304 | 2105 | 1 | -16 | -2 | 0 | 0 | -0.07 |
| 2304 | 2107 | -1 | 19 | 0 | -1 | 0 | 2.12 |
| 2209 | 2105 | 0 | -21 | -3 | 1 | 0 | -2.2 |
| 2209 | 2107 | -2 | 0 | -3 | 0 | 0 | 4.16 |
| 2219 | 2105 | 1 | 6 | 0 | 0 | 1 | 0.4 |
| 2219 | 2107 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1.52 |

Nota: Valores obtenidos de la media de cada cruce menos la media general.

DFM = Días a floración masculina, AP = Altura de planta, IMM = Índice de inserción de mazorca, MP = Mazorca podrida, MC= Mala cobertura y REND = Rendimiento.

V. CONCLUSIONES

- I. Los valores de ACG obtenidos para las líneas, permitieron identificar una línea superior que corresponde a la línea (2214) en base al rendimiento, pero a su vez es una de las líneas con muy buen comportamiento agronómico, además de las líneas (2119, 2304 y 2209) que por obtener los valores más altos y positivos, puedan utilizarse en la generación de una variedad sintética.
- II. De acuerdo a los valores de ACE para cada una de las líneas, se identificó aquella línea que puede ser utilizado como progenitor de híbrido como es la 2209.
- III. El probador que mostró efectos agronómicamente desfavorables es el 2105, deduciendo que este probador puede ser utilizado para discriminar líneas.
- IV. En cuanto al mejor probador con mejores efectos agronómicos es el 2107.

VI. RESUMEN

En el Instituto Mexicano del Maíz (IMM) se realizan investigaciones con el fin de mejorar el aprendizaje de los alumnos de la carrera de Ingeniero Agrónomo en Producción, dando así las herramientas básicas para salir y enfrentar todos los retos que el campo laboral impone. En esta investigación entre híbridos de maíz amarillo experimentales formados bajo el diseño de línea por probador teniendo como objetivos principales: I) Evaluar por sus características agronómicas competitivas un grupo de líneas de maíz amarillo, generadas en el ambiente agroclimático del sur de Saltillo. II) Identificar el mejor probador con mayor discriminación de líneas y a su vez, el probador que pueda ser utilizado como progenitor de híbridos en base a su aptitud combinatoria general (ACG) tomando como base su expresión en el rendimiento de grano de maíz. La evaluación de 18 híbridos experimentales se llevó a cabo en el bajío de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en los campos experimentales destinados para el IMM, evaluados en dos ambientes tomando en cuenta como fecha de siembra distinta para cada ambiente realizados en la modalidad primavera - verano del 2014. El diseño empleado fue completamente al azar, se llevó a cabo el diseño de líneas por probador para estimar los efectos de aptitud combinatoria, permitiendo explorar los materiales superiores tomando en cuenta las variables de interés agronómico. En los datos arrojados por el ANOVA se puede apreciar

variabilidad entre ambientes, siendo uno el más atractivo en cuanto a sanidad pero a diferencia del otro con una tonelada menor en rendimiento, siendo que ésta se realizó como siembra tardía, con dichos resultados y siguiendo con futuros establecimientos de experimentos pudiera o no optarse por cambiar las siembras a fechas tardías para tener mejores resultados en cuanto a la producción en mejor calidad. En cuanto a los datos arrojados por el análisis genético línea por probador permitieron identificar a las líneas 2214, 2119, 2304 y 2209 como superiores por su buena aptitud combinatoria general (ACG), mientras que la mejor cruza tomando en cuenta la aptitud combinatoria específica (ACE) se identificó superioridad para la línea (2209) con el probador (2107). Con estos resultados pueden tomarse en cuenta a los materiales bajo estudio para ser integrados en futuros programas para la formación de variedades sintéticas. En cuanto a los valores obtenidos de ACG para probadores permitieron identificar al probador 2 (numeración 2107) como buen discriminador de líneas para las variables agronómicas de interés, presentando también buen comportamiento para la variable rendimiento.

Palabras clave: *Zea mays*, maíz amarillo, líneas endogámicas, probador, línea por probador, aptitud combinatoria general (ACG), aptitud combinatoria específica (ACE).

Correo electrónico: leo_geovani@hotmail.com Edilvar Geovani Roblero Muñoz.

VII. LITERATURA CITADA

- Aslam R., Munawar M., & Salam A.** 2014. Genetic architecture of yield components accessed through line x tester analysis in wheat (*Triticum aestivum* L.) Universal Journal of Plant Science, 2(5), 93 – 96.
- Brauer, H. O.** 1987. Fitotécnica Aplicada. Edición. DR. Limsa. México, D.F. 518 p.
- Buckler, Es, IV, y TP Holtsford.** 1996. Zea Systematics: Ribosomal ITS Evidence. Molecular Biology & Evolution. 13: 612 – 622.
- Chávez A., J. L.** 1995. Mejoramiento de plantas II. 2da. Ed. Editorial Trillas. México, DF:
- De León C. H.** 2015. Apuntes Curso “Mejoramiento de Plantas III. Clave FIT 470. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Dowswell C.D., Paliwal R.L., & Cantrell R.P.** 1996. Maize in the Third World. Boulder, CO. USA, Westview Press.

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

García B., E. E. 2004. ¿Por qué Sembrar Maíz? *Revista Tonalli. Cenli.* Núm. 1.1 Vol. 1. Noviembre-Diciembre. Pág. 13

Gómez M. O., Sierra M. M., González C. M., Cantú A. A., Ramírez F. A., Wong P. J., Manjarrez S. M., Ramírez D. J. 2008. H- 562 Híbrido de maíz de alto rendimiento para el trópico húmedo y seco de México. *Agricultura Técnica de México.* Vol. 34(1): 101-105.

Hallauer A. R., J. B Miranda. 1988. *Qualitative Genetic in Maize Breeding.* 2nd ed. Iowa State Univ. Press. Ames. IA. 468 p.

Kato, T.A., C. Mapes, I.m. Mera, J.A. Serratos, R.A. Bye. 2009. Origen y Diversificación del Maíz: una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 116 pp. México, D. F.

Lobato – Ortiz, Ricardo; Molina – Galan, José D., López – Reynoso, José de J. Mejía – Contreras José A., Reyes- López Delfino. 2010. Criterios para elegir el mejor probador de la aptitud combinatoria general para rendimiento

de grano de las líneas autofecundadas de maíz. *Agrociencia*, Vol. 44. Núm. 1. pp. 17-30 Colegio de Postgraduados Texcoco, México.

Mauro Sierra Macías, Márquez F. D., Valdivia R. B., Córdoba H. O., Ledezma R. G., y Pescador A. R. 2004. Uso de probadores en la selección de líneas para formar híbridos de maíz (*Zea mays* L.). *Agricultura Técnica de México* Vol. 30 Núm. 2 p. 169-181.

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

Marvin F. Lindsay. 1985. Línea Endogámica de Maíz, Dekalb-Pfizer Genética. Patentes.

Maztinger, D. F. 1953. Comparison of Tree Types of Tester for the Evaluation On Inbred Lines of Corn. *Agron. J.* 45:493-495.

Mendoza, Mariano; Oyervides, Arnoldo; Rodríguez, Sergio Alfredo. 2000. Efecto de dos probadores en la selección de líneas de maíz tropical. *Revista Fitotecnia Mexicana*, Vol. 23. Núm. 1. p. 79-86.

McLean, S. D., S. K. Vasal; S. Pondey and G. Sriniva-son. 1997. The Use Tester to Exploit Heterosis in Tropical Maize at CIMMYT in: *Book of Abstract.*

The Genetic An Explotation of Heterosis in Crops. An International Symposium. México D.F., Pp 26-27.

Jean-Pierre Marathée, Ripusudan L. Paliwal, Honor Renée Lafitte, Gonzalo Granados, Alejandro D. Violic. 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. FAO 2001.

Paliwal, R. L., & Sprague E.W. 1981. Improving Adaptation and Yield Dependability in Maize in the Developing World. México, D.F. CIMMYT.

B. M. Prasanna, Vijay Chankam y George Mahuku (editores). 2013. Tecnología de dobles haploides en el mejoramiento del maíz: teoría y práctica. México, D.F. CIMMYT. 58p.

Panorama Agrario. En línea <http://panoramaagrario.com/> Mayo/15/ 2016, 1.25 PM.

Juan Manuel Quiroz Chico. 2006. Efectos genéticos y desempeño agronómico como criterio de selección de líneas, probadores e híbridos experimentales, Tesis de Licenciatura. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Ramírez L. 2006. Mejora de plantas alógamas. Producción Vegetal Genética y Mejora Vegetal. Universidad Pública de Navarra.

- Rashid M., Cheema A. A., & Ashraf M. 2007.** Line x tester analysis in basmati rice. Pak. J. Bot, 39(6), 2035-2042.
- Rawlings, J. O. and D. L. Thompson. 1962.** Performance level as criterion for the choice of maize tester. Crop Sci. 2:217-220.
- Reyes C., P. 1985.** Fitogenotecnia básica y aplicada. AGT Editor S.A. México. 460
- Sierra, Mauro; Márquez Fidel; Valdivia, Roberto; Lano Octavio Rodríguez, Flavio A. 2000.** Aptitud combinatoria general y específica de líneas tropicales de maíz usando probadores. Agronomía Mesoamericana, Vol. 11 Núm.1. Pp. 103 – 112.
- SIAP.** Servicio de información agroalimentaria y pesquera de México. Mayo 2014.
- Susana, Gómez Posada. 2007.** Fitomejoramiento. Lec. 40. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Pereira, Colombia.
- Vasal S. K. 1994.** Estrategias en el desarrollo de híbridos tropicales de maíz. Agronomía Mesoamericana (PCCMCA). Vol. 5 Pp. 184-189.
- Vega S. M., Burciaga V. G., Padron C. E., Guevara O. J., Cuellar C. R. 2004.** Híbridos de maíz de planta media y baja con amplio rango de adaptación a partir de los híbridos AN-360, AN-461 y AN-462. Resultados de proyectos de investigación. pp. 253-258.

Vergara N., Shivaji Pandey, Surunder Kumor, Scott D. McLean, Sergio Rodríguez. 1998. Comportamiento de híbridos de maíz y aptitud combinatoria de líneas con caracteres contrastantes. *Agronomía Mesoamericana* 9(2): 97-104.