

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



**Aptitud Combinatoria General y Específica de Líneas de Maíz
Para Tolerancia a Sequía y a *Fusarium spp.*, Usando
Probadores.**

Por:

ALFREDO ESTRADA SALINAS

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el
Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Aptitud Combinatoria General y Específica de Líneas de Maíz Para
Tolerancia a Sequía y a *Fusarium spp.*, Usando Probadores.

Por:

ALFREDO ESTRADA SALINAS

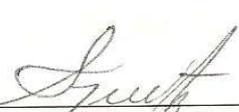
Tesis

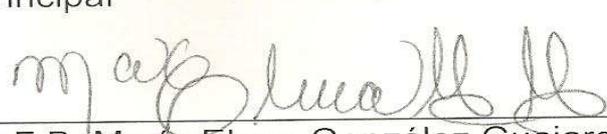
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

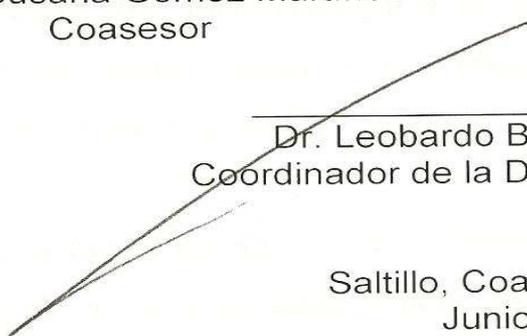
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada


Dr. Humberto de León Castillo
Asesor Principal


Dra. Susana Gómez Martínez
Coasesor


Q.F.B. María Elena González Guajardo
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México
Junio, 2012



Coordinación
División de Agronomía

AGRADECIMIENTOS

A mi “Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro” que es y será siempre mi Alma Terra Mater, la cual es una de las mejores Universidades de México en el ámbito agrario, por tal razón, le estoy agradecido por darme un lugar para formarme profesionalmente, como a muchos más alumnos se los ha dado y se los seguirá dando.

Con gran Respeto al Dr. Humberto de León Castillo, y también ¡Gracias! por haberme apoyado con sus conocimientos en este trabajo, además, de que es un gran amigo y magnífico profesor por saber transmitir sus conocimientos a los alumnos.

A la Dra. Susana Gómez Martínez, por haberme apoyado con sus buenas revisiones y sugerencias en esta investigación, además de que es una gran profesora y buena consejera para salir adelante profesionalmente.

A la Q.F.B. Ma. Elena González Guajardo, por su valioso apoyo en el laboratorio y por sus buenas recomendaciones para este trabajo que se logró culminar.

Al Ing. Raúl Gándara Huitrón, por su gran apoyo y colaboración para esta tesis, además de que es un buen amigo y que nos enseña a trabajar en las áreas de investigación del Instituto Mexicano del Maíz.

A la T.LQ. Ma. Victoria Cueva Arias y al personal de los laboratorios de Cultivo “In Vitro” de Tejidos Vegetales (Los Pinos) y Calidad Proteínica por brindarme su ayuda y a los demás tesisistas.

A la T.LQ. Cristina Sánchez Flores del laboratorio del Departamento de Parasitología, por su amabilidad y apoyo para terminar este trabajo.

Al M.C. Daniel Sámano Garduño, por haberme apoyado para poder iniciar esta tesis y también de que es un gran amigo y buen profesor para los alumnos.

Al Ing. Víctor Cedillo García, por darme la oportunidad y experimentar las prácticas profesionales realizando actividades de trabajos de evaluación y experimentales de maíz y sorgo para la empresa de Monsanto.

A la Lic. Sandra López Betancourt encargada del centro de cómputo de la carrera Ing. Agrónomo en Producción, por darle una buena estructura a esta tesis.

A mis amigos de carrera y Generación CXII, Guadalupe Bolaños, Irving Trujillo, Pedro Vidal, Edith Vázquez, Carolina Grajales, Magni Donaldó, Roni Madain, Iris Atenea y a todos los demás que formaron parte de la carrera, ¡Gracias! por compartir su amistad conmigo, aunque no todos llevamos de igual manera, pero por lo menos compartimos un momento juntos un rato de amistad, pero si un gran tiempo como alumnos en las aulas de clases.

A otros amigos que les agradezco su amistad, Pedro Medina, Claudia Montiel, Faustino Nicolás, Nidia Cruz, Marisol Yam, Arnulfo Pérez, Fermín Gómez, Elsy Vargas, David “el puebla”, Israel y Emanuel de Jorge, ¡Gracias! y ojalá alcancen sus objetivos a lograr en esta vida.

¡Dios los Bendiga!

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo con Mi más Profundo Amor y Respeto a Mis Padres

Al Sr. ABEL ESTRADA CONTRERAS y a la Sra. ROSA SALINAS RAMÍREZ

De los cuales me siento orgulloso y agradezco a Dios por darme unos padres tan buenos y bondadosos, ya que gracias a sus buenos consejos y regaños lograron con su esfuerzo para que yo terminara una carrera, ya que esta, es una de mis metas para sobresalir social y profesionalmente. Los Quiero Mucho y este trabajo es de Ustedes.

A Dios por prestarme la vida que es tan valiosa para mí, la cual está llena de experiencias, virtudes, alegrías, tropiezos y más que nada, te agradezco porque de una forma u otra siempre trato de verle el lado bueno a la vida.

A mis sobrinos y hermanos Jaime, Herminia, José Abel y más que nada a mi hermano mayor Jaime, ya que lo respeto, lo he visto como un ejemplo y lo seguirá siendo para mí, porque te has esforzado muchos años para salir adelante, sin embargo, les agradezco a mis hermanos que de una forma u otra me apoyaron.

A mi abuelo Victorino Salinas García (†), ya que fue una persona muy buena y querida para mí.

Y finalmente a mi pueblo de San Gabriel Amacuitlapilco de Jonacatepec Morelos, ya que de ti existen personas muy trabajadoras que me sirvieron de guía para mi superación como profesionista, y donde cualquier lugar que este, no me olvidaré de quien labrador soy.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos.....	4
Hipótesis.....	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
Situación Actual del Maíz en México.....	6
Expectativas del Maíz en México y a Nivel Mundial a Largo Plazo.....	6
Origen y Clasificación.....	7
Factores que Limitan la Producción.....	7
Momentos Críticos en el Desarrollo de la Planta.....	8
Definición de Sequía.....	9
Respuestas de las Plantas Bajo Estrés Hídrico.....	10
Tipos de Resistencia Genética a la Sequía y Mejoramiento para Incrementar la Resistencia.....	11
Respuestas del Maíz al Estrés Hídrico.....	13
<i>Fusarium spp.</i> (estado anamorfo de <i>Calonectria spp.</i> , <i>Gibberella spp.</i> , <i>Microneciriella spp.</i> y <i>Nectria spp.</i>).....	15
Clasificación Taxonómica.....	16
Pérdidas y Limitantes por <i>Fusarium spp.</i> , en la República Mexicana....	16
Especies Identificadas en México.....	17
Mecanismos de Defensa de las Plantas Contra Patógenos.....	19
Resistencia Genética a <i>Fusarium spp.</i>	20
Hibridación en Maíz.....	22
Líneas.....	22

	Pág.
Líneas Resistentes a Sequía y a <i>Fusarium spp.</i>	23
Probadores.....	25
Aptitud Combinatoria General y Específica (ACG y ACE).....	27
Línea por Probador.....	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
Material Genético.....	33
Sitio Experimental.....	34
Selección de Genotipos de Maíz Tolerantes a Sequía.....	34
Descripción del Manitol.....	35
Preparación de la Solución de Manitol.....	37
Selección de Genotipos de Maíz Tolerantes a Enfermedades.....	37
Procedimiento para la Obtención del Filtrado Tóxico de <i>Fusarium spp.</i>	37
Diseño Experimental.....	45
Siembra de los Híbridos.....	45
Registro de Datos de Longitudes y Pesos Frescos.....	47
Registro de Datos de Pesos Secos.....	48
Estudio Genético de los Datos Usando el Análisis de Línea por Probador.....	48
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
Híbridos de Maíz Sometidos a Estrés Hídrico.....	51
Híbridos de Maíz Inoculados con el Filtrado Tóxico de <i>Fusarium spp.</i> ...	59
V. CONCLUSIONES.....	67
VI. RESUMEN.....	68
VII. LITERATURA CITADA.....	70
VIII. APÉNDICE.....	83

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
3.1	Genealogía de los 43 híbridos simples de maíz.....	33
4.1	Cuadrados medios de los 43 híbridos de maíz sometidos al estrés hídrico simulado por manitol. Saltillo, Coah., 2011.....	52
4.2	Cuadrados medios de los 43 híbridos de maíz sometidos al estrés hídrico simulado por manitol, obtenidos por el análisis de línea por probador. Saltillo, Coah., 2011.....	53
4.3	Valores de Aptitud Combinatoria General (ACG) de las 17 líneas obtenidos a través de sus 43 híbridos de maíz sometidos al estrés hídrico simulado por manitol. Saltillo, Coah., 2011.....	54
4.4	Valores de Aptitud Combinatoria General (ACG) de los 3 probadores obtenidos a través de sus 43 híbridos de maíz que se sometieron al estrés hídrico por manitol. Saltillo, Coah., 2011.....	55
4.5	Valores de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) de los 43 híbridos de maíz que se sometieron a estrés hídrico por manitol. Saltillo, Coah., 2011.....	57
4.6	Cuadrados medios de los 43 híbridos de maíz sometidos al filtrado tóxico de <i>Fusarium spp.</i> Saltillo, Coah., 2011.....	59

Cuadro	Pág.
4.7 Cuadrados medios de los 43 híbridos de maíz sometidos al filtrado tóxico de <i>Fusarium spp.</i> , obtenidos por el análisis de línea por probador. Saltillo, Coah., 2011.....	60
4.8 Valores de Aptitud Combinatoria General (ACG) de las 17 líneas obtenidos a través de sus 43 híbridos de maíz que se sometieron al filtrado tóxico de <i>Fusarium spp.</i> Saltillo, Coah., 2011.....	62
4.9 Valores de Aptitud Combinatoria General (ACG) de los 3 probadores obtenidos a través de sus 43 híbridos de maíz que se sometieron al filtrado tóxico de <i>Fusarium spp.</i> Saltillo, Coah., 2011.....	64
4.10 Valores de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) de los 43 híbridos de maíz que se sometieron al filtrado tóxico de <i>Fusarium spp.</i> Saltillo, Coah., 2011.....	65
A1 Formato de hoja de campo donde se registraron los datos de las variables evaluadas de los híbridos sometidos a sequía simulada y a las toxinas de <i>Fusarium spp.</i>	84
B2 Agrupamiento estadístico de Tukey de los 43 híbridos de maíz que pasaron por una presión osmótica de -5 bars por el manitol que simuló estrés hídrico.....	85
C3 Agrupamiento estadístico de Tukey de los 43 híbridos de maíz que estuvieron expuestos al filtrado tóxico de <i>Fusarium spp.</i>	87

I. INTRODUCCIÓN

En el 2010 México contaba con una población de 112, 322, 757 de habitantes uno de los países más poblados de habla hispana y el segundo de América Latina teniendo por delante a Brasil y con el onceavo lugar a nivel mundial. Solo en el Distrito Federal que es el más poblado del país, en el año 2005 contaba con una población aproximada de 8.7 millones de habitantes; para el 2011, el área metropolitana de la Ciudad de México contaba con una población un poco más de 20.1 millones de habitantes, aproximadamente el 50 por ciento vive en las 55 áreas metropolitanas que tiene México. Para el 2011 se estimó una población para México de 114, 682, 518 habitantes, y apenas el 30 de Octubre del año pasado se alcanzó la cifra de 7, 000, 000, 000 de habitantes a nivel mundial y se estima que para el año 2050 habrá una población de 9 mil millones de habitantes (INEGI, 2012).

Por otra parte, el cambio climático se encuentra totalmente presente sobre nosotros, debido al aumento del efecto invernadero, esto es debido a 3 cosas fundamentales; quema de combustibles fósiles en industrias que sirven para generar energía, que al mismo tiempo generan millones de toneladas de bióxido de carbono (CO₂) que se liberan a la atmósfera, destrucción de bosques que absorben una gran cantidad de CO₂ y el aumento de la población, que por resultado, esta demanda más cantidad de alimentos, agua y recursos naturales; todo esto es un círculo vicioso. El calentamiento global trae como consecuencias, fuertes lluvias que causan inundaciones severas, adelgazamiento de la capa de ozono, descongelamiento de los polos, incendios y sequías fuera de lo normal.

La manera en que afecta esto a la agricultura a nivel mundial, es que disminuye la producción por superficie sembrada, ya sea por sequías o inundaciones. Por otra parte, las plagas y enfermedades pueden prolongarse por más tiempo debido a las nuevas condiciones ambientales que pueda causar la humedad o sequía excesiva, por lo que causan más daño en los cultivos agrícolas.

Por otra parte, el maíz como cereal es el de mayor importancia en la nutrición para la humanidad. Este grano junto con el trigo, abarcan un 40 por ciento de alimentos del mundo y cerca de un 25 por ciento de las calorías que se consumen en los países en desarrollo (FAO, 2010). Con respecto a México, el cultivo de maíz es el más importante, desde el punto de vista alimentario, industrial, social y político. Además, este grano se relaciona con los demás cereales que se siembran en México, principalmente, trigo, cebada, sorgo, arroz y avena (Cruz *et al.*, 2007).

Por tal razón, es importante obtener altos rendimientos de maíz, por lo que se necesitan buenos híbridos o variedades que se adapten a las nuevas condiciones del medio ambiente, para ello se requiere generar materiales desde los ensayos de experimentación hasta la producción de semilla, pero en el lapso de ese tiempo, es necesario realizar trabajos de investigación en laboratorios bien equipados que nos permitan detectar los materiales más prometedores que se adapten a las condiciones adversas como heladas, sequías, plagas, enfermedades, etc., y que puedan ser recomendado a los productores.

Lo que se mencionó en el párrafo anterior se relaciona con lo más novedoso de esta época que son los famosos y controversiales organismos transgénicos (OGM) desarrollados por medio de la Ingeniería Genética y Biotecnología a partir de 1970 en Estados Unidos, donde se empezó a realizar investigaciones con el ADN para poder crear una molécula híbrida de ADN

recombinante. A través de los años se desarrollaron las plantas transgénicas y dentro de estas se encuentra el maíz; caso polémico que es muy discutido en México por ser centro de origen. Hasta la fecha no se ha publicado de manera oficial que estos OGM'S sean dañinos para la humanidad, al contrario ha ayudado a lograr a mantener los estándares de nivel de producción de los cultivos, debido a su resistencia a plagas, enfermedades, heladas, y lo más actual de hoy que se ha estado desarrollando, resistencia a la sequía.

Desde hace 15 años, el **Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV)** ubicado en Irapuato, Gto., ha desarrollado un nuevo maíz resistente a sequía (organismo cisgénico), el cual se informó de su total desarrollo el año pasado y que en este año de 2012 su evaluación experimental será en el Sur de Sinaloa, y de acuerdo al éxito que se tenga, este grano podrá estar disponible para productores en el 2013, ya que es en este estado donde se concentra el 74 por ciento de producción de maíz en México (Fundación Antama, 2011). Todas estas herramientas que ofrecen la Ingeniería Genética y la Biotecnología para crear los OGM'S, pueden ir de la mano con el mejoramiento genético del maíz, para desarrollar nuevas variedades o híbridos que se adapten a las nuevas condiciones ambientales que se enfrenta el productor.

En la actualidad nuestro país está pasando por una situación bastante crítica por la falta de agua, algo que no se había visto en los últimos 70 años. A causa de esto se han visto afectados los estados del norte de México como Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León y Zacatecas. Sin embargo, este fenómeno natural se encuentra en otros estados de tipo medio o excepcional (SAGARPA, 2012). Aunque los estados afectados por la sequía que se mencionan no son grandes productores de maíz, pero en otros estados si se cultiva este grano, es necesario recurrir a técnicas de laboratorio que nos ayuden a detectar que materiales pueden ser tolerantes a la sequía. El Instituto Mexicano del Maíz (I.M.M.) "Dr. Mario E. Castro Gil" de la Universidad

Autónoma Agraria “Antonio Narro”, cuenta con varios programas de mejoramiento genético, los cuales utilizan como herramientas técnicas de laboratorio que ayudan en los programas de mejoramiento del I.M.M., para la selección de nuevos y mejores genotipos.

De igual manera, una de las enfermedades que causas grandes pérdidas en la producción de maíz, es el hongo fitopatógeno cosmopolita *Fusarium spp.*, ya que dependiendo de la agresividad de este mismo, del medio ambiente y de la susceptibilidad del hospedero, es la clave para que este hongo pueda desarrollarse y causar los daños en la planta. Por tal motivo, es conveniente realizar estudios en el laboratorio para detectar que materiales son susceptibles a este hongo y predecir que materiales pueden ser tolerantes a este patógeno microscópico.

OBJETIVO GENERAL

- Utilizar de forma adecuada la metodología de las técnicas de selección de genotipos de maíz tolerantes a sequía y a *Fusarium spp.*, en el Laboratorio de Cultivo “*In Vitro*” de Tejidos Vegetales perteneciente al I.M.M. como apoyo para el programa de mejoramiento genético de este instituto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Con la diferente capacidad de discriminación que puedan tener los distintos probadores al haberse cruzado con las diferentes líneas, detectar que líneas pueden ser útiles en la formación de híbridos de maíz para tolerancia a la escases de humedad y a *Fusarium spp.*
- Identificar un buen probador que no enmascare el potencial genético de las líneas para que sea bastante eficiente en la discriminación de estas para tolerancia a tales condiciones de estrés.

HIPÓTESIS

- 1) Existe interacción significativa de línea por probador en el análisis a realizar, en cada una de las variables para tolerancia al estrés hídrico que ejercerá el manitol como el agobio que causará el filtrado tóxico de *Fusarium spp.*, en los diferentes híbridos.
- 2) En base a efectos favorables de Aptitud Combinatoria General (ACG) que exhibirán las distintas líneas, sobresaldrá por lo menos una en alguna o en varias de las variables a evaluar.
- 3) De los híbridos a evaluar que se llevará en el laboratorio, por lo menos uno tiene favorables efectos de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) en alguna o en todas las variables para tolerancia a sequía y a las toxinas del filtrado.
- 4) Existe variabilidad genética entre líneas para que estas expresen valores significativos de efectos de ACG favorables o desfavorables, en cada una de las variables a evaluar para tolerar o no a la sequía que simulará el manitol y a las toxinas del filtrado del hongo, de igual manera, variabilidad genética de efectos de ACE en híbridos específicos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Situación Actual del Maíz en México

En el año 2010 hubo una producción de 23, 301, 878.98 toneladas de maíz de grano (blanco y amarillo); el cual aportó un 33.5 por ciento, es decir, solo este grano aportó un valor de casi de un 35 por ciento en ingresos a nivel nacional al compararse con todos los cultivos que se siembran en México, es por eso que el maíz es un cultivo y alimento básico importante para nuestro país (SAGARPA, 2010).

En la actualidad el maíz se cultiva todos los meses del año en diversos sitios del mundo llegando a ocupar el 1^{er} lugar a nivel mundial superando la producción del trigo y el arroz. En 2010, México ocupó el 4^{to} lugar en producción de Maíz a nivel mundial aportando más de 20 millones de toneladas, siendo el estado de Sinaloa el principal productor con una participación del 25 por ciento; cabe destacar que el principal productor de maíz es el país de Estados Unidos (SAGARPA, 2011).

Expectativas del Maíz en México y a Nivel Mundial a Largo Plazo

De acuerdo a estudios realizados por SAGARPA (2011) en el comercio mundial del maíz entre 2010/2011, se comercializaron 93.2 millones de toneladas de grano y para el 2020/2021 se comercializarán aproximadamente 113.2 millones. De acuerdo a sus expectativas, la producción y exportaciones serán de Estados Unidos a nivel mundial ubicándose en el 1^{er} lugar. Estimó que países como Brasil, Argentina, Rusia y Unión Europea incrementarán su producción y exportaciones. Según esta, México para este año del 2012 se

espera una producción de 23.7 a 25.6 millones de toneladas de maíz; también, esta calcula que del 2012 hasta llegar al año 2020, será cuando nuestro país va a ser autosuficiente en este grano.

Origen y Clasificación

La mayor parte de los estudios que se han realizado, mencionan que el maíz (*Zea mays* L.) es originario de México hasta Guatemala, ya que a partir desde el Sureste del Municipio de Tehuacán Puebla, México; se han encontrado tusas petrificadas de hace unos 7,000 años de edad, que probablemente fueron de un maíz que hoy es extinto (CEDAF, 1998).

Fundación Manuel Mejía (2008) menciona la siguiente clasificación taxonómica del maíz:

Reino..... Plantae
División..... Magnoliophyta
Subdivisión..... Angiospermas
Clase..... Liliopsida
Subclase..... Commelinidae
Orden..... Poales
Familia..... Poaceae
Subfamilia..... Panicoideae
Género..... *Zea*
Especie..... *Zea mays* L.

Factores que Limitan la Producción

Lafitte (1993) divide los problemas de la producción de maíz tropical en tres partes fundamentales. En el primero incluye los factores edáficos y climáticos, donde se encuentran como el estrés hídrico, aniego o encharcamiento de agua,

impacto del sol y de la temperatura, doblez o acame de tallo, suelos ácidos o alcalinos y salinos. En el segundo, los factores del manejo del cultivo como métodos de siembra y preparación del terreno, densidad, falta de elementos minerales esenciales, daño por agroquímicos, problemas de maleza y defoliación. En el tercero, contempla los bióticos donde intervienen las plagas del suelo y de la superficie, enfermedades por bacterias o de tipo fungoso que atacan a la semilla o a nivel plántula, daño por virus, características genéticas no deseadas (mutaciones) y pájaros o roedores.

Los problemas que existen en México para producir maíz son muy complejos como económicos, técnicos, agroecológicos y sociales. Por otra parte existen muchas formas y técnicas para producir este cultivo en nuestro país, el apoyo de las instituciones es de manera desigual y las condiciones agroecológicas de nuestro país son variables, por lo cual, no se obtienen los buenos rendimientos de este cultivo. Las limitantes principales a las que se enfrenta el cultivo es la disponibilidad de agua, plagas, enfermedades, variabilidad de las temperaturas, eficiencia de asimilación de nutrientes, etc.

<http://www.agrosintesis.com> Marzo 2012

Momentos Críticos en el Desarrollo de la Planta

El maíz tiene dos momentos críticos muy importantes. En el primero, es a partir de los 30 cm de altura, cuando la planta se mantiene en competencia con las malezas por luz, agua y nutrientes. El segundo, desde la formación de la mazorca hasta la etapa del grano lechoso, el punto crítico es la cantidad de humedad que se encuentre disponible. Si no se le suministra el riego suficiente o no llueve mínimo durante un mes, el rendimiento disminuirá ya que es en este período cuando se forma el grano (Seghezzo, 2002).

Gaspar y Tejerina (2008) mencionan que el fósforo (P) interviene en dos momentos críticos en el desarrollo de la planta de maíz. El primero es en la germinación, ya que es aquí donde este elemento favorece un rápido crecimiento radicular. El segundo, donde se requiere este elemento es a partir de la etapa V6 donde empieza el crecimiento vegetativo lineal de la planta; este elemento también es requerido en pre-floración, ya que esta inicia una gran actividad metabólica asociada a la fecundación y al llenado de granos.

Ruiz *et al.* (1999) citan que los periodos críticos de la planta de maíz es cuando se necesita agua para la germinación, las primeras tres semanas de desarrollo y 15 días antes y 30 días después de la floración. El período más crítico por requerimiento de agua, es 30 días antes de la polinización, ya que se necesita por lo menos 100-125 mm de lluvia. Con menos de esta humedad y con altas temperaturas se produce la asincronía floral y la pérdida parcial o total de la viabilidad del polen. En general, los períodos críticos por requerimientos hídricos son en el espigamiento, formación de la mazorca y el llenado de granos.

Definición de Sequía

Sequía es una situación en la cual, la disponibilidad de agua es insuficiente para satisfacer las necesidades de las plantas, animales y seres humanos de acuerdo a su modo de vida, distribución y aprovechamiento de las tierras. Algunas sequías son de naturaleza localizada que duran poco tiempo o son de zonas extendidas que duran largos periodos. De acuerdo a diversas disciplinas científicas o de actividad económica, la sequía afecta a la agricultura, ganadería, industria, recreación, turismo, etc., (Medina *et al.*, 2006).

Marcos (2001) cita cuatro definiciones de sequía; meteorológica, basada en datos climáticos, expresión de desviación de la precipitación respecto a la media durante un periodo determinado; agrícola, primer sector afectado por las

bajas precipitaciones, es decir, es cuando no hay suficiente humedad en el suelo para permitir el desarrollo de un determinado cultivo; hidrológica, deficiencia en el caudal o volumen de aguas superficiales o subterráneas; socioeconómica, baja disponibilidad de agua hasta el punto de producir daños a la población de la zona afectada por la escasez de lluvias. Pero este, define de forma general la sequía como la “deficiencia de precipitaciones durante un período de tiempo relativamente prolongado”.

Respuestas de las Plantas Bajo Estrés Hídrico

Las limitaciones de agua inducen en las plantas respuestas que afectan su morfología, fisiología y metabolismo. Las hojas cambian su ángulo de inclinación, se enrollan y se incrementa la relación del peso entre la raíz y la parte aérea (la raíz mantiene su velocidad de crecimiento y la parte aérea disminuye). Entre los cambios fisiológicos y metabólicos que ocurren por este déficit, es la disminución de síntesis de proteínas, y también, la velocidad de crecimiento, aumento de cera en la cubierta de las hojas, cambios en la transpiración, en la respiración, en la fotosíntesis, en la distribución de nutrientes, etc., (Covarrubias, 2008).

Basurto *et al.* (2008) mencionan que cuando se presenta una sequía corta o prolongada durante cualquier ciclo agrícola de un cultivo, inmediatamente sucede el cierre de estomas como mecanismo de protección o resistencia a esa condición adversa, esto sucede debido al incremento de niveles endógenos de ácido abscísico (ABA). Estos mismos mencionan que las plantas presentan dos mecanismos de defensa cuando están al frente de un déficit hídrico, como el escape y la tolerancia. En el primero lo describen como el uso de ciclos de crecimiento muy rápidos o de madurez temprana, y en el segundo son aquellas que utilizan mecanismos morfofisiológicos complejos como hojas pequeñas y cerosas, como en el caso de las plantas CAM.

Ledent (2002) menciona varias respuestas de las plantas como resistencia o tolerancia a la sequía. Retardo de la deshidratación (evitamiento); capacidad de mantener la hidratación de los tejidos siendo una tolerancia a la sequía gracias a un potencial hídrico elevado. Tolerancia a la deshidratación; capacidad de funcionar a pesar de la deshidratación teniendo un potencial hídrico bajo. Escape; plantas que terminan su ciclo durante la estación húmeda, antes del período seco.

Tipos de Resistencia Genética a la Sequía y Mejoramiento para Incrementar la Resistencia

Paliwal *et al.* (2001) mencionan que la resistencia es una característica heredable y controlada principalmente por un sistema genético nuclear y a veces por un citoplasmático. En el segundo tipo de resistencia es controlado por unidades hereditarias dentro del citoplasma que supone que están dentro de los cloroplastos y mitocondrias; este tipo de resistencia es transmitido por el progenitor femenino y puede ser incorporado por una retrocruza con el progenitor deseado (♂), con la fuente parental deseada (♀). También mencionan que la resistencia genética puede ser controlada por uno o por pocos genes importantes (cualitativa monogénica u oligogénica) o como en otros casos, por muchos genes que forman un sistema poligénico.

Márquez *et al.* (2009) señalan que la resistencia a sequía en producción de maíz está controlada por la heredabilidad, medio ambiente e interacción genotipo ambiente. En la heredabilidad se debe a que interactúan entre sí muchos genes ya sea en un sitio cromosómico o dominancia de un gen sobre un alelo e interacción entre sitios cromosómicos o epístasis. De igual manera la dominancia y la epístasis interactúan con el efecto del ambiente. Estos mencionan que para mejorar los caracteres cuantitativos con efectos acumulativos para la resistencia a sequía, es necesario que donde se evalúen genotipos, sea en ambientes extremos que favorezcan a la sequía, así como

también, las condiciones desfavorables deben ser bastante homogéneas para evitar escapes de plantas aparentemente resistentes.

Pérez *et al.* (2010) indican que las características que hacen resistente al sorgo a la sequía, son un sistema radicular muy ramificado doble al que posee la planta de maíz y un déficit de presión de difusión de sus raíces igualmente superior a muchos otros cultivos, capas de cera que recubren hojas y tallos que disminuyen la evaporación, células motoras o higroscópicas que están ubicadas sobre la nervadura de las hojas que le producen un acartuchamiento a fin de evitar la evapotranspiración, una gran cantidad de estomas muy pequeños que responden a una mayor seguridad en apertura y cierre en las variaciones ambientales de humedad, facultad para entrar en período de dormancia o reposo vegetativo cuando escasea el agua.

Acosta *et al.* (2004) mencionan que el frijol no es una especie resistente a la sequía, pero sin embargo, existen genotipos de diferentes hábitos de crecimiento que poseen características como respuestas a la sequía como el escape (precocidad), evasión y tolerancia a la deshidratación, e indican que estas características son necesarias y pueden ser útiles en un programa de mejoramiento genético.

Alfonso (2006) concluye que para establecer un programa de mejoramiento genético para resistencia a sequía en arroz, se deben incluir variedades de tipo tradicional, con características de tallos gruesos, raíces gruesas y profundas, con porte alto, baja capacidad de ahijamiento, con adaptación a bajos niveles de fertilizantes, poca exigencia de agua y con bajo potencial de rendimiento; y que estas deben cruzarse con genotipos semiananos de tallos finos, raíces abundantes y de alta productividad.

Respuestas del Maíz al Estrés Hídrico

Sobrado (1991) realizó una investigación con dos cultivares contrastantes de maíz tropical a déficit hídrico; evaluó crecimiento foliar y radical, intercambio de gases y relaciones hídricas, donde anteriormente, estas características respondieron diferencialmente en condiciones de campo. Los dos cultivares, seleccionados por tolerar la sequía, los estableció en invernadero bajo condiciones de sequía y riego. El área foliar de las plantas en sequía tuvo una reducción en comparación a la tasa de expansión foliar relativa. Pero después de haber regado a los 10 días, hubo una recuperación donde solo un cultivar mantuvo el control del 75 por ciento. Pero lo más importante fue que el mismo cultivar que mantuvo el control, logró mantener el alargamiento radical durante la sequía. Por tanto, sugirió que este carácter podría conferir un valor adaptativo al maíz para zonas tropicales con sequías esporádicas de corta duración.

Layne *et al.* (2008) utilizaron tres tamaños de semillas de maíz (> 0.36 , $\geq 0.32-0.36 \leq y < 0.32$ g) para evaluar en laboratorio dos híbridos comerciales en bandejas de aluminio usando como sustrato papel absorbente con tres soluciones osmóticas (0, -0.6, -1.2 MPa) preparadas con sacarosa comercial para estudiar la germinación y el crecimiento de plántulas. La solución de -1.2 MPa redujo la germinación en un solo material, en general, la reducción de las soluciones redujeron todos los caracteres de las plántulas, excepto el peso de la radícula, que fue mayor con el menor potencial osmótico. El tamaño de la semilla no influyó en la germinación en ninguna condición de estrés, sin embargo, se observaron plántulas de mayor tamaño a partir de semillas grandes. Concluyeron, que la solución de -1.2 MPa es buena para seleccionar material genético tolerante a sequía en la etapa de germinación y el uso de semillas grandes puede representar una ventaja en suelos sin problemas de sequía.

Avendaño *et al.* (2008) sometieron dos variedades de maíz originales y dos variedades mejoradas descendientes de las originales pero con resistencia a sequía, a altos niveles de estrés hídrico en condiciones de invernadero, y concluyeron, que las variedades mejoradas obtenidas por selección masal, han desarrollado un mecanismo de resistencia llamado "latencia" mediante el cual, las plantas detienen su crecimiento en condiciones extremas de sequía, pero cuando nuevamente hay humedad en el suelo, reinician su desarrollo.

López y Salazar (1998) sometieron en periodo de precipitación, a evaluación a un híbrido y a una variedad de maíz en zonas áridas, a condiciones deficientes de humedad en el suelo a dos diferentes profundidades (0-30 cm y 30-60 cm), para evaluar altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, rendimiento de forraje y humedad en el suelo por genotipo. Observaron que el contenido de humedad de la segunda profundidad, fue el que mantuvo mayor humedad por largos periodos, y detectaron que el híbrido fue el que se adaptó a las condiciones de suelo-clima y con buen rendimiento de forraje, además de que este un genotipo de riego, concluyeron que puede soportar largos periodos de sequía pudiendo llegar a grano o a forraje.

Rivera (2004) realizó en laboratorio una evaluación de 64 maíces criollos, utilizando papel germinador embebido con manitol como simulador de sequía a una presión osmótica de -5 bars, con cuatro variedades como testigos. El objetivo fue detectar a nivel plántula germoplasma tolerante a través de un buen sistema radicular y buena longitud de plúmula. Este encontró variabilidad de respuesta de los materiales, donde un genotipo sobresalió para longitud de raíz y otro con buen tamaño de plúmula; los demás fueron inferiores, pero estos, fueron mejores a los testigos. Concluyó que la raíz y la plúmula son buenos parámetros para seleccionar genotipos tolerantes a este tipo de estrés usando como secuestrador de humedad el reactivo de manitol.

***Fusarium spp.* (estado anamorfo de *Calonectria spp.*, *Gibberella spp.*, *Microneciriella spp.* y *Nectria spp.*)**

Monzón y Rodríguez (2001) mencionan que *Fusarium spp.*, son enfermedades de hongos de distribución universal, ubicuas y con una gran importancia económica; ya que estas son de tipo habitual fitopatógeno. Su distribución se atribuye a su gran capacidad para crecer en una amplia gama de sustratos y a su eficaz mecanismo de dispersión; de acuerdo a estos, la lluvia y el viento juegan un importante papel en su diseminación.

Gilchrist *et al.* (2005) señalan que *Fusarium spp.*, se presenta en muchas regiones debido a una amplia variedad de hospederos y a una amplia adaptación a temperaturas. Este hongo interfiere con la etapa de establecimiento, así como en la pre y post-emergencia de la raíz, especialmente cuando se presenta una alta temperatura de 25-30°C en el suelo en el momento de la siembra; los suelos secos tienden a favorecer el desarrollo de esta enfermedad cuando especialmente las plantas se acercan a la madurez y esta misma coincide con períodos de sequía.

Vera *et al.* (2007) indican que la enfermedad de *Fusarium* es de amplia distribución mundial, además los miembros de este género son típicamente fitopatógenos con más de 100 patotipos, y que este hongo es saprobio en una amplia variedad de suelos. La viabilidad de sus esporas se reduce con la profundidad del suelo, puede permanecer a profundidades cercanas de 50 cm, requiere elevada humedad para desarrollarse, es muy común en los suelos cultivados a diferencia de suelos forestales, y su presencia se asocia más a suelos neutros y ligeramente ácidos.

Clasificación Taxonómica

Tomando como referencia la clasificación que hizo Alexopoulos *et al.* (1996) para *Fusarium oxysporum*, el género de este hongo se le ubica dentro de la siguiente taxonomía:

Reino..... Fungi
Phylum..... Deuteromycota
Clase.....Deuteromycetes
Orden.....Moniliales
Familia..... Tuberculariaceae
Género.....*Fusarium*
Especies.....*aquaeductuum*,
chlamydosporum, *coeruleum*, *dimerum*, *incarnatum*, *graminearum*, *napiforme*,
proliferatum, *sacchari*, *solani*, *sporotrichoides*, *sub glutinans*, *tabacinum*,
verticillioides (antes *moniliforme*) etc.

Pérdidas y Limitantes por *Fusarium spp.*, en la República Mexicana

Mendoza *et al.* (2002) señalan que en México se calculan grandes pérdidas en producción de maíz por pudrición de tallo y de grano a causa de *Fusarium spp.* Según estos, el patógeno aparece primero con una coloración salmón en el casquete de la punta de los granos, después, los granos infectados muestran un crecimiento de moho polvoso de color rosáceo, compuesto por grandes cantidades de esporas o conidias. Con respecto al tallo, el hongo puede penetrar a través de nudos, las plantas infestadas se tornan a color café y los tejidos se ablandan en la parte inferior del tallo y conforme avanza la enfermedad, el tejido medular se distribuye y quedan solamente en el tallo las fibras de los vasos conductores de agua.

Figuroa *et al.* (2010) mencionan que algunas especies de *Fusarium* perjudican al cultivo de maíz con marchitez desde plántulas hasta plantas adultas, ocasionándoles también pudriciones en órganos vegetativos como en hojas, tallos y raíces. Por otra parte, Pérez *et al.* (2001) reportan que la pudrición de mazorca es causada por *Fusarium moniliforme* ocasionando grandes pérdidas de maíces adaptados a la región de Valles Altos de México.

Carrillo *et al.* (2003) indican que los problemas fitosanitarios limitantes de la producción del cultivo de tomate en el extranjero y aquí en México, es ocasionado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopercisi* (Fol) causante de un marchitamiento vascular en la planta, el cual tiene mayor incidencia en regiones de clima cálido ocasionando grandes pérdidas económicas. Por otra lado, Ruiz *et al.* (2005) mencionan que en las regiones meloneras de México, algunas enfermedades de especies de *Fusarium* provocan la pudrición en frutos de melón reticulado y además son las causantes de importantes pérdidas de postcosecha en este cultivo.

Cisneros *et al.* (2007) señalan que el factor que restringe la expansión del sorgo bicolor tolerante al frío de los Valles Altos Centrales de México, es la susceptibilidad al tizón del tallo y de panoja, originados por *Fusarium verticillioides* (antes *moniliforme*) y *F. oxysporum*. Flores *et al.* (2007) reportan que México en regiones de clima templado-húmedo, el tizón de la espiga del trigo provocado por *Fusarium graminearum*, es una enfermedad que se origina durante la floración y esta origina bajas en el rendimiento y en la calidad del grano.

Especies Identificadas en México

García y Martínez (2010) analizaron 16 muestras de maíz criollo, en el estado de Puebla para identificar especies de *Fusarium* en granos recién cosechados y desgranados, en especial en aquellas especies registradas como

inductoras de pudrición de mazorca y de grano, principalmente las que producen micotoxinas. Las especies encontradas fueron las de *F. oxysporum*, *F. subglutinas*, *F. moniliforme*, *F. graminearum*, *F. anthophilum*, *F. poae*, *F. tricinctum*, *F. sporotrichioides* y *F. proliferatum*. A diferencia de *F. oxysporum*, *F. tricinctum* y *F. anthophilum*, las demás especies están registradas como causantes de pudrición de mazorca, tallo y grano, de las cuales, algunas son productoras de diversas micotoxinas y pueden ocasionar problemas en la salud humana y animal.

Gallardo *et al.* (2006) colectaron 76 muestras de grano de maíz procedente de diez localidades productoras del estado de Sonora, para conocer la microbiota y determinar presencia de fumonisinas en forma natural y para evaluar la capacidad de producir estas mismas en cepas de *Fusarium verticillioides* aisladas de las muestras y desarrolladas en el laboratorio. Además, en este estudio se encontraron con seis especies más de este género, entre las identificadas fue *F. oxysporum*, *F. solani*, *F. tricinctum*, *F. graminearum*, *F. proliferatum* y *F. subglutinans*.

Montiel *et al.* (2005) realizaron estudios para identificar especies de *Fusarium spp.*, causantes de pudrición en raíces de frijol en los estados de Zacatecas, Guanajuato, Querétaro, Aguascalientes y San Luis Potosí. Encontraron 197 especies de este género, con un 39 por ciento de *F. oxysporum*, 27 de *F. solani*, 13 de *F. lateritium*, y 8 de *F. reticulatum*; además, se obtuvieron 7 aislamientos de *F. equiseti* y 4 de *F. verticilloides*, mientras que *F. culmorum* y *F. crookwellense* se identificaron dos de cada uno, uno de *F. proliferatum* y uno de *F. sporotrichioides*. Según estos, *F. oxysporum* f. sp. *phaseoli* y *F. solani* f. sp. *phaseoli* han sido reportadas como causantes de pudrición de raíz en frijol.

Ochoa *et al.* (2011) identificaron especies de *Fusarium* involucradas en la pudrición basal del ajo en el estado de Aguascalientes; muestrearon 10

parcelas, tomaron plantas con síntomas de la enfermedad y aparentemente sanas, de igual manera, se recolectó la semilla. Para su identificación, utilizaron criterios morfológicos, los cuales sirvieron para identificar tres especies de *Fusarium* como *F. oxysporum*, *F. culmorum* y *F. proliferatum*, siendo esta última en reportarse por primera vez en semilla de ajo en México.

Cosme (2009) menciona que el melón y la sandía son las especies de cucurbitáceas que ocupan los primeros lugares de importancia a nivel mundial; y que el problema de muerte de plantas de sandía previo a la cosecha es causado principalmente por *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*; *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* afecta al melón pero con menor frecuencia, causando secadera hasta marchitez en plantas adultas, también presenta otros síntomas como amarillamiento de hojas basales y achaparramiento.

Mecanismos de Defensa de las Plantas Contra Patógenos

Hernández (2010) señala que los mecanismos de resistencia de las plantas hacia los patógenos son la resistencia inducida (resistencia sistémica adquirida), escape, barreras estructurales, fitoalexinas, tolerancia, inmunidad e hipersensibilidad; además, las plantas tienen varios tipos de resistencia basada sobre el modo de herencia (monogénica-poligénica), efecto de los genes, especificidad del hospedante, estados de crecimiento del hospedero, términos epidemiológicos y resistencia basada sobre la durabilidad de la misma planta. Además, la resistencia poligénica no es específica, es decir, es eficaz contra cada patógeno, a diferencia de la resistencia monogénica, esta es específica contra diferentes razas del mismo patógeno.

Blanco y Aguirre (2002) indican que las proteínas son un grupo de compuestos que constituyen una de las principales fuentes de defensa de las plantas a los patógenos, no sólo por su elevada especificidad y eficiencia, sino porque además algunas de estas son altamente reguladas, respondiendo su

síntesis al ataque de la enfermedad. Según estos, las proteínas que producen las plantas son una alternativa interesante para producir plantas con mejores características de resistencia, a través de fitomejoramiento o por medio de ingeniería genética.

Investigaciones en las últimas dos décadas revelan que el Ácido Salicílico (AS) participa en varias respuestas de defensa de las plantas contra patógenos, este influye en la muerte celular, expresión de proteínas relacionadas con la patogénesis (PR), inducción de resistencia local y sistemática. De igual manera, esta molécula interactúa negativa o positivamente con otras vías de señalización hormonal para inducir algunas respuestas de defensa. Por tales razones, resulta interesante seguir explorando las vías de señalización del AS en el conjunto de procesos de la resistencia de plantas hacia las enfermedades (Rangel *et al.*, 2010).

Resistencia Genética a *Fusarium spp.*

Paliwal *et al.* (2001) mencionan que puede haber incompatibilidad entre resistencia a enfermedades y buen rendimiento de grano de maíz, debido a que la resistencia horizontal puede sufrir pérdidas en su depósito metabólico, en cambio, la resistencia vertical puede escapar a estas pérdidas, es por eso que esta última es preferida por los fitomejoradores, si es que está presente y puede ser estabilizada, sin embargo, esta puede también desaparecer a causa de la mutación de los patógenos. La resistencia horizontal es estable y puede ser introducida en el maíz sin perjudicar otras variables, obteniendo así buenos rendimientos y resistencia a enfermedades. En el caso del maíz, la resistencia horizontal ha sido usada contra muchas enfermedades y la resistencia vertical ha estado en pocos casos.

Iglesias *et al.* (2011) señalan de acuerdo a estudios, que la herencia de la resistencia a *Fusarium spp.*, en maíz es un carácter cuantitativo con efectos

génicos predominantemente aditivos, aunque también se han identificado genes mayores dominantes; sin embargo, según estos existe poca información sobre herencia de la resistencia hacia la acumulación de micotoxinas.

Mendoza *et al.* (2003) indican que la resistencia genética ofrece el más amplio potencial para el control de la resistencia a la pudrición de mazorca y tallo de maíz causado por *Fusarium moniliforme*, además, en un estudio realizado por estos para evaluar las F₁ obtenidas mediante cruzas directas y recíprocas para evaluar la resistencia a este hongo, concluyeron que una salida importante es el mejoramiento convencional y el método apropiado, inclusive para romper bloques de ligamiento, explotar la varianza aditiva, dominante y epistática, es la selección recíproca recurrente.

Arias *et al.* (2007) mencionan que en el frijol se ha detectado una relación genética entre la resistencia a *Fusarium solani* y ciertas características indeseables en la planta, es decir, se han encontrado variedades con hipocótilos morados y con testa negra en la semilla que hacen más resistentes a la pudrición radical ocasionado por este patógeno, según estos, existen numerosas líneas con resistencia a esta enfermedad; además se ha encontrado que la producción de faseolina inhibe la germinación y el crecimiento de *F. solani*.

Ascencio *et al.* (2008) realizaron cruzamientos con tomate y dos variedades silvestres (genotipos susceptibles y resistentes) para determinar la herencia de resistencia a la raza 3 de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopercisi*. De las F₂ obtenidas y evaluadas bajo condiciones de invernadero y con suspensiones conidiales de esta enfermedad, encontraron resistencia vertical ajustada a una relación de 3:1 de genotipos resistentes y susceptibles, lo que les indicó una herencia monogénica con dominancia completa.

Hibridación en Maíz

Espinosa *et al.* (2001) señalan que un híbrido de maíz se obtiene por el cruzamiento de dos progenitores o líneas contrastes o diferentes genéticamente (parentales) donde uno realiza la polinización (♂: espiga) y el otro es el receptor del polen (♀: jilote con estigmas) el cual produce la semilla híbrida, para esto se necesita que haya coincidencia en floración y sobre todo que exista control de la polinización para que se dé una buena fecundación para la obtención con éxito de una buena semilla híbrida.

De acuerdo a Chávez (1995) los híbridos simples, triples y dobles de maíz se forman de la siguiente manera:

- Simple. Se forma al cruzar dos líneas puras, y para designar a los progenitores, el fitomejorador suele usar letras o números, de los cuales el primero se refiere a la hembra (♀) y el que le sigue al macho (♂), por ejemplo, A x B.
- Triple. Este se forma con tres líneas autofecundadas o puras, es decir, son el resultado de un cruzamiento entre una cruce simple y una línea pura; y se simboliza (A x B) x C.
- Doble. Se forman a partir de cuatro líneas autofecundadas, es decir, son la progenie híbrida obtenida de una cruce entre dos cruces simples; y se representa (A x B) x (C x D).

Líneas

La obtención de líneas puras endogámicas, originadas mediante el proceso de autofecundación de las plantas de maíz durante varias generaciones, y del vigor híbrido, resultante del cruzamiento de estas líneas, fueron los responsables que el mejoramiento genético convencional tomara bastante auge al inicio del siglo pasado, esto, para encontrar las mejores combinaciones con alto nivel de producción, adaptación con características agronómicas favorables

para la cosecha mecánica y resistencia a plagas y enfermedades (De Miranda, 2002).

Cubero (2003) menciona que una línea pura es un conjunto de individuos absolutamente homocigotos; la definición aplica tanto para autógamias como alógamas. En la práctica se relaja la necesidad de homocigosis absoluta, pero es preferentemente deseable la máxima posible, no obstante, se restringe la exigencia de esta a un grado conveniente alcanzable en un cierto periodo de tiempo. El material de partida lo constituyen en fases tempranas de la mejora, las variedades-población, razas locales o primitivas, etc. Además, al insistir en la necesidad de selección simultánea a la fecundación, no se desea obtener líneas puras que reflejen la estructura génica de la población original sino una serie de líneas puras con caracteres agronómicos deseables.

Castañón *et al.* (2000) señalan que en todo programa de mejoramiento genético de plantas es importante seleccionar a los progenitores, para cuando al ser cruzados produzcan buenas combinaciones híbridas. Así mismo, Mendoza *et al.* (2000) indican que la evaluación y selección de líneas es la etapa más importante en un programa de mejoramiento de plantas, donde además, se ha tratado de implementar métodos simples e indirectos que permiten detectar los genotipos más sobresalientes. Por otro lado, Antuna *et al.* (2003) enfatizan que el desarrollo de líneas y la identificación de las mejores combinaciones híbridas de maíz con base en el potencial de rendimiento determinan el éxito de un programa de mejoramiento genético.

Líneas Resistentes a Sequía y a *Fusarium spp.*

Castañón *et al.* (2000) evaluaron en condiciones de riego y sequía a 77 líneas S₅ de maíz de un programa de mejoramiento del INIFAP y 4 líneas como testigos (tolerantes a sequía) pertenecientes al CIMMYT. Utilizaron cuatro índices que consistían en rendimiento de grano (IS; índice de sequía, MA;

media aritmética, MG; media geométrica y ITS; índice de tolerancia a sequía) y el quinto, G+GxS el cual involucró todos los índices, esto para seleccionar germoplasma tolerante. La evaluación de estas 77 líneas en riego-sequía permitió seleccionar un 10 por ciento con tolerancia a este tipo de estrés. En base a sus resultados, al utilizar el índice de G+GxS es mejor opción para mejorar por resistencia a sequía.

Zarco *et al.* (2005) seleccionaron 4 líneas de maíz experimentales en cultivo “*In Vitro*” que mostraron tolerancia contrastante a estrés osmótico. En la evaluación en campo, estas fueron sometidas a dos condiciones de humedad; riego y sequía. En los datos de rendimiento calcularon los índices de susceptibilidad, donde 2 líneas fueron tolerantes a sequía y 2 no lo fueron; las líneas que toleraron la sequía tuvieron menor pérdida en número de granos por planta, tasa fotosintética y producción de biomasa. La asincronía floral, la turgencia del jilote y el contenido de sacarosa entre la hoja y el jilote no se asociaron con la tolerancia a sequía de las líneas. Por último, concluyeron que la respuesta de estas 4 líneas sometidas al déficit hídrico en campo, concordó parcialmente con lo reportado bajo condiciones “*In Vitro*”.

Velázquez (2006) evaluó 32 líneas elite de maíz en condiciones de laboratorio por medio de las variables de longitud de plúmula y de raíz, para buscar tolerancia a sequía y a *Fusarium moniliforme* mediante secuestradores de humedad adicionado con manitol a una presión osmótica de -5 bars y con filtrado tóxico de este mismo hongo. Solamente una línea sobresalió bajo las dos condiciones de evaluación, lo cual le indicó que este genotipo está compuesto por genes que pueden tolerar ambas condiciones; y que además este genotipo puede ser utilizado para formación de híbridos o variedades. Concluyó, que la técnica de manitol como agente osmótico y el uso del filtrado, son aceptables para seleccionar germoplasma tolerante a estas dos condiciones de estrés.

Mendoza *et al.* (2006) determinaron la tasa de infección de la pudrición del tallo de maíz en 134 líneas S₁ causado por *Fusarium moniliforme* mediante la técnica del palillo de dientes bajo condiciones de campo. En la primera evaluación que hicieron se presentó un nivel de intensidad de la enfermedad de 0 a 1 por ciento, y en la segunda hubo más variabilidad en la intensidad del hongo, siendo un porcentaje de 49 a 100. Solo en la primera evaluación sobresalieron 4 líneas resistentes. Concluyeron que en un programa de mejoramiento genético, estas pueden ser utilizadas para mejorar la resistencia horizontal a esta enfermedad.

Córdoba (1972) puso a germinar en una cámara germinadora a 25°C, 50 líneas de maíz en tres diferentes grupos, para identificar germoplasma en estado temprano de desarrollo resistente a *Fusarium moniliforme* y a *F. graminearum*. Utilizó siete métodos de inoculación; el séptimo método (inoculación en cajas petri y traspaso a toallas de papel) le fue más eficiente para seleccionar líneas resistentes. Identificaron 3 líneas del grupo I, 3 del grupo II y 2 del grupo III con resistencia a *F. moniliforme*; 2 líneas del grupo I, 1 del grupo II y 1 del grupo III fueron resistentes a *F. graminearum*; y donde solamente una línea del grupo I y 3 del grupo II fueron resistentes a ambas especies. Concluyó, que es posible suponer que estos factores de resistencia pueden ser incorporados a híbridos mediante métodos de mejoramiento genético.

Probadores

Vivek *et al.* (2008) señalan que todos los programas de generación de híbridos de maíz deben enfocarse para elegir un probador apropiado para evaluar la aptitud combinatoria de las líneas segregantes. Un probador puede ser una línea pura, una variedad de polinización libre (VPL) o un híbrido simple. Un buen probador debe facilitar la discriminación entre genotipos con base en la aptitud combinatoria y otras características deseadas, identificar híbridos útiles

que se puedan utilizar directamente y que estos sean compatibles con un programa de mejoramiento de maíz.

La selección adecuada del probador maximiza la expresión de la línea, pero, existen diferentes opiniones sobre el cual es el mejor para evaluar y seleccionar líneas autofecundadas. Sin embargo, la mayoría de investigaciones coinciden en usar como probador a una variedad de maíz de polinización libre que presente la máxima variabilidad genética posible; otros sugieren una variedad contrastante a líneas que se tratan de seleccionar para un carácter en específico, para otros, el mejor probador es el que presenta en forma homocigota recesiva todos los loci (Chávez, 1995).

Sierra *et al.* (2000) en una investigación de maíz, estimaron la aptitud combinatoria general y específica en líneas tropicales con diversos niveles de endogamia procedentes de varias fuentes de germoplasma. 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.

Mendoza *et al.* (2000) para identificar las mejores líneas e híbridos de maíz y determinar cual probador maximiza la ganancia en rendimiento, evaluaron 23 líneas S_3 derivadas de una cruce de dos poblaciones mejoradas (Tutifruiti x Compuesto Cardel), ambas poblaciones fueron cruzadas con dos probadores, siendo uno de reducida base genética (cruza simple) y el otro de amplia base genética (variedad VAN 555). Concluyeron, que es un hecho que con el uso de diferentes probadores se obtiene la máxima información, logrando seleccionar el germoplasma deseado y desarrollo de híbridos comerciales a corto plazo.

Sierra *et al.* (2004) tuvieron como objetivo identificar y seleccionar líneas de maíz sobresalientes mediante el uso de probadores (líneas). Ellos concluyeron,

que el uso de probadores y la evaluación *per se* de líneas representa una estrategia metodológica alternativa en la selección de líneas para la formación de híbridos; además, el efecto de probadores les permitió identificar líneas sobresalientes en cada grupo heterótico diferente y ver también los niveles de aptitud combinatoria general y específica.

Montenegro *et al.* (2002) estudiaron el comportamiento de 57 accesiones de maíz criollo tropical, evaluados a través de cruzas de prueba usando dos poblaciones (criollos) y dos líneas endogámicas como probadores, con el objetivo de identificar su potencial genético. Ellos encontraron, que los grupos de probadores de amplia y reducida base genética permitieron constatar la diversidad genética de las accesiones y su potencial; y que además, un probador de la población y otro de las líneas, fueron los que se identificaron como los de mayor capacidad para rendimiento y para discriminar las accesiones de estudio.

Aptitud Combinatoria General y Específica (ACG y ACE)

Gutiérrez *et al.* (2002) reportaron las primeras definiciones de ACG y ACE hechas por Sprague y Tatum (1942) donde ACG es el término que emplearon para designar al comportamiento promedio de una línea en combinaciones híbridas, a través de sus cruzamientos con un conjunto de líneas diferentes, mientras que la ACE lo emplearon para designar a la desviación que presenta la progenie de una crusa específica con respecto al promedio de sus progenitores. Además, determinaron la ACG y ACE para rendimiento de grano de seis líneas de maíz por medio de diseños dialélicos para zonas semiáridas, encontrando 3 progenitores con mayor ACG de valor positivo y 3 cruzas con mayor ACE.

Mediante la Aptitud Combinatoria (AC) de los progenitores, el mejorador logra mayor eficiencia en su programa de mejoramiento, pues le permite

seleccionar progenitores con un comportamiento promedio aceptable en una serie de cruzamientos e identificar combinaciones específicas con un comportamiento superior a lo esperado, con base en el promedio de los progenitores que intervienen en el cruzamiento (Guillen *et al.*, 2009).

Ramírez (2006) describe la AC como la capacidad de un genotipo (línea consanguínea, individuo o clon) o de una población, de dar descendencia híbrida caracterizada por la alta expresión de un carácter. La AC mide la capacidad para producir heterosis en ciertos caracteres y se mide evaluando el comportamiento del genotipo o población en todos los cruzamientos posibles. Si el genotipo produce buenos híbridos de maíz en todos los cruzamientos en que participa se dice que tiene buena ACG. Si sólo es con determinados genotipos se dice que tiene buena ACE. La AC es hereditaria (transgresiva).

Así mismo, Cubero (2003) menciona que la ACG de una línea pura concreta de maíz es su valor para formar híbridos con cualquier otra, pero esta, tendrá una ACG alta si el promedio de sus híbridos con otras líneas es alto. La ACE de dos líneas puras concretas es el valor híbrido entre ambas. Entonces las aptitudes combinatorias (ACG y ACE) son caracteres como otros cualquiera que se pueden seleccionar y transmitir por cruzamiento, ya que los individuos de una población difieren en ACG y en su ACE con otros individuos.

Iglesias *et al.* (2011) evaluaron todos los cruzamientos dialélicos posibles de 2 líneas resistentes de maíz (R) por dos susceptibles (S) a *Fusarium verticillioides*, incluyendo recíprocos, bajo experimentos inoculados artificialmente. Encontraron ausencia de efectos recíprocos, presencia de efectos ACG favorables en ambas líneas R y desfavorables o nulos en líneas S y de efectos de ACE favorables en algunas cruza RxS. Además, la ausencia de efectos recíprocos y la importancia de ACG sugieren que la formación de híbridos resistentes debe realizarse en base a ambos progenitores resistentes usados indistintamente como hembra o macho. También, se podrían

aprovechar efectos no aditivos en cruzas específicas. Tomando en cuenta los efectos positivos de ACG y ACE en cruzas resistentes a este hongo, es necesario excluir progenitores susceptibles en la formación de híbridos comerciales.

Wong *et al.* (2007) determinaron los parámetros genéticos de ACG de dos grupos de 10 líneas autofecundadas y de su ACE de sus cruzas en maíz de grano adaptado para zonas semiáridas, estas fueron provenientes del INIFAP, UAAAN-UL y el CIMMYT. El apareamiento genético lo realizaron bajo el Diseño de Carolina del Norte II. Identificaron solamente 4 líneas como ♂ y ♀ con alto valor de ACG, así como rendimiento de mazorca y de grano. Identificaron solo 4 cruzas directas como las más sobresalientes por su ACE, donde la cuarta destacó por tener altos rendimientos de mazorca y grano. Las mejores cruzas fueron por líneas de origen UAAAN-UL con líneas superiores pertenecientes al CIMMYT.

Teruel *et al.* (2008) particionaron los efectos ACG y ACE para distintas variables relacionadas con la germinación y el vigor de plántulas de cruzas dialélicas de maíz bajo estrés hídrico por polietilenglicol (PEG) 8000 a 1.4 Mpa. Seleccionaron 6 líneas de maíz endocriadas; tres de ellas con alto porcentaje de germinación y las restantes con bajo porcentaje bajo estrés hídrico. Realizó todas las cruzas F_1 posibles bajo el método 4, modelo 1, de Griffing, para después evaluarlas bajo condiciones osmóticas con polietilenglicol en laboratorio. Sus resultados les arrojaron solo 2 líneas de las seleccionadas por el alto porcentaje de germinación, con los valores más altos de ACG. Con respecto a efectos ACE, les fue posible seleccionar combinaciones promisorias para los caracteres evaluados.

Pech *et al.* (2010) estimaron la ACG y ACE de siete poblaciones criollas de chile dulce de las cruzas resultantes entre ellas mediante un diseño dialélico. Midieron rendimiento de fruto (RF), peso individual de frutos (PIF), número de

frutos por planta (NFP), días a inicio de cosecha (DIC), altura de planta (AP), longitud (LF) y diámetro de fruto (DF). Encontraron que los efectos aditivos estimados por ACG fueron más grandes que los de dominancia estimados por ACE, y que ambos fueron influenciados por el ambiente de selección. Solo tres progenitores mostraron los efectos positivos más altos de ACG en RF, y dos de estos generaron híbridos con altos valores de ACE. Con los valores de ACG de los padres, concluyeron que la hibridación sería el mejor método adecuado para incrementar el RF y NFP. En cambio, para mejorar AP, PIF, DIC, LF y DF, el método de mejoramiento sería por endocría y selección para formar variedades.

Línea por Probador

Vergara *et al.* (2005) citaron varios métodos para estimar la ACG y ACE de líneas de maíz, donde los más utilizados son los cuatro métodos de diseño dialélicos establecidos por Griffing (1956), pero esto se dificulta cuando el número de líneas aumenta, para solución del problema, ya se encontraba el método de mestizos propuesto por Davis (1927), el cual utiliza una amplia base de genotipos usando un probador para determinar la habilidad combinatoria de estas. Siendo este método de línea x probador, los autores del principio citan a Singh y Chaudhary (1985) donde mencionan que el método de línea x probador, es para utilizar varios probadores para proporcionar información de ACG y ACE de las líneas, y que además permite estimar varios tipos de efectos genéticos.

El comportamiento de cruzamientos de prueba depende de la habilidad combinatoria general asociada a efectos aditivos y de la habilidad combinatoria específica, que depende de diferencias en frecuencias génicas para alelos con dominancia parcial a completa entre el material probado y los probadores, por lo que, cuando se utilizan probadores divergentes en la evaluación de líneas de maíz estas diferencias pueden reflejarse en la existencia de interacciones de línea por probador (Nestares *et al.*, 1999).

Terrón *et al.* (1997) por medio de línea por probador, dieron origen a 60 híbridos a partir de 30 líneas de maíz S₇ derivadas de la población 43SR, formadas por el subprograma de maíces subtropicales del CIMMYT, utilizando dos probadores de esta institución donde uno pertenece al grupo heterótico "A" y otro al "B". Todas las cruzas posibles fueron establecidas en cuatro localidades, incluyendo un testigo comercial. Sus resultados les indicaron en sus componentes de variación para ACG y ACE diferencias significativas en su análisis combinado de rendimiento. Los valores significativos de ACE permitieron separar líneas en grupos heteróticos opuestos, es decir, siete líneas integraron el sintético de los grupos heteróticos "A" y "B". Nueve cruzas simples superaron al testigo en rendimiento de grano. Conforme a sus resultados, concluyeron que las líneas sobresalientes de este subprograma pueden usarse efectivamente en proyectos de hibridación de programas nacionales o de compañías privadas.

Vergara *et al.* (2005) cruzaron 20 líneas elite de maíz tropicales y subtropicales S₆₋₁₀ del CIMMYT con 6 líneas elite (Adaptación Bajío) como probadores pertenecientes al I.M.M. de la UAAAN, para fin de examinar su ACG de las líneas y la ACE de las cruzas establecidas en tres localidades. Solo 2 líneas del sub y tropical tuvieron el mayor efecto de ACG, mientras que el mayor efecto de ACE fueron dos cruzas, siendo también del sub y tropical. Con base en sus resultados, concluyeron que es posible estructurar un programa de desarrollo de nuevos híbridos en un tiempo corto, utilizando las mejores líneas del CIMMYT y los mejores probadores de la UAAAN.

Nestares *et al.* (1999) evaluaron 48 líneas de maíz flint colorado en base a su comportamiento en cruzamientos de prueba con probadores dentados sB73 y sMo17 del patrón heterótico Reid x Lancaster y con los probadores flint HP3 y P5L2 del patrón heterótico local HP3 x P5L2 en cuatro ambientes. Se realizaron los análisis de variancia por ambiente y en forma combinada a través de ambientes, tomando en cuenta ocho variables agronómicas. Detectaron

interacciones línea por probador altamente significativas para la mayoría de las variables evaluadas, lo cual demuestra la capacidad de los probadores para discriminar estos materiales flint; además de que los probadores presentaron capacidad para discriminar las líneas evaluadas.

Castañón *et al.* (1998) cruzaron 24 líneas S₅ del INIFAP con dos líneas de maíz como probadores del CIMMYT para generar cruza de prueba o mestizos, posteriormente se evaluaron en dos ambientes diferentes tomando en cuenta las variables de mala cobertura, mazorcas podridas, materia seca y rendimiento de grano, incluyendo dos testigos comerciales. Ellos concluyeron que solo 4 líneas presentaron alta ACG, respecto a la ACE, los mestizos que se formaron con el probador uno superaron a varios mestizos formado con el probador dos. Los testigos comerciales fueron superados por las mejores combinaciones híbridas. Identificaron los patrones heteróticos superiores dados por las líneas 20 y 24 con el probador 1; 3 y 4 con el probador 2.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Material Genético

Por medio de línea por probador, en el Cuadro 3.1 se muestran los 43 híbridos o cruza simples que se originaron a partir 17 líneas del Instituto Mexicano del Maíz (I.M.M.) “Dr. Mario E. Castro Gil” de la UAAAN por dos probadores (líneas), más un probador del CIMMYT (línea QPM: Quality Protein Maize); estas cruza se generaron en la localidad El Prado (El Mezquite) perteneciente al Municipio de Galeana del estado de Nuevo León en el ciclo Prim - Ver 2009.

Cuadro 3.1 Genealogía de los 43 híbridos simples de maíz.

X	PROBADOR	1	2	3	***	***	***	***	***	***
LÍNEA	NÚMERO	4902	4904	5003	5004	5005	5006	5007	5008	5009
1	4102	1	17				37			
2	4103	2	18				38			
3	4104	3						41		
4	4105	4	19		31					
5	4106	5	20		32					
6	4107	6	21							
7	4109	7	22							
8	4110	8	23						42	
9	4111	9								43
10	4112	10		29						
11	4114	11	24		33					
12	4204	12	26		34					
13	4208	13	27				39			
14	4209	14	28			36				
15	4210	15					40			
16	4101		16			35				
17	4115		25	30						

*** Del probador 5003 al 5009 pertenece al probador QPM.

Sitio Experimental

La investigación se realizó en el 2011 en el laboratorio de Cultivo “*In Vitro*” de Tejidos Vegetales perteneciente al I.M.M. en Buenavista, Saltillo, Coahuila; situado entre las coordenadas geográficas de 25° 20’ 33.37” Latitud Norte y 101° 01’ 58.93” Longitud Oeste a una altitud de 17 42 msnm.

De acuerdo con la metodología de González (2002) se hizo uso de dos técnicas como herramientas de ayuda de laboratorio, para evaluar el comportamiento de las seis variables de los híbridos que estuvieron bajo condiciones de sequía simulada por el reactivo de manitol y bajo las toxinas del filtrado de *Fusarium spp.* El protocolo de las técnicas utilizadas se describen enseguida:

Selección de Genotipos de Maíz Tolerantes a Sequía

Metodología

El I.M.M. ha desarrollado técnicas biotecnológicas que permiten identificar genotipos de maíz tolerantes a sequía por medio de secuestradores de humedad; de las tres técnicas que se mencionan a continuación se recomienda la tercer técnica por múltiples ventajas, ya que requiere menos insumos de laboratorio que generan un menor gasto.

1. Siembra en medio nutritivo artificial adicionado con secuestradores de humedad.
2. Siembra en cajas petris – sanitas y secuestradores de humedad.
3. Siembra en taco (papel germinador o secante) y secuestradores de humedad.

Siembra en Taco (papel germinador o secante) y Secuestradores de Humedad

Mediante el uso de compuestos de alto peso molecular como el manitol y el polietilenglicol que actúan secuestrando agua y simulan condiciones de estrés hídrico y mediante el uso de la semilla completa de maíz es posible identificar genotipos tolerantes a sequía.

Reactivos

Manitol, hipoclorito de sodio (NaClO), agua destilada-esterilizada y alcohol al 96 por ciento.

Material y Cristalería

Papel germinador o secante, semilla de maíz, cinta doble cara, matraz erlenmeyer, charolas de aluminio, canastillas, bolsas de polietileno, vasos de precipitado de 500 ml, probeta graduada, papel aluminio y lápiz tinta especial.

Equipo

Balanza analítica, cuarto incubadora, destilador y parrilla electromagnética.

Descripción del Manitol

Es un reactivo químico osmótico, por su alta hipertonicidad acarrea el agua al compartimiento extracelular desde el medio intracelular. La presencia de este soluto no reabsorbible, disminuye la absorción de agua al ejercer una fuerza osmótica opuesta, por tales características, este no es absorbido por las plantas, al contrario evita que estas mismas puedan absorber la humedad. Su fórmula química es $C_6H_{14}O_6$ y su peso molecular es de 182.2. De acuerdo a estudios realizados con este reactivo dentro de la UAAAN (Laboratorios del I.M.M.) se tiene una dosis óptima substituyendo así al polietilenglicol (PEG), por

lo que se considera que es un buen inductor de condiciones de sequía que permite seleccionar genotipos tolerantes a la escases de humedad.

Para determinar la cantidad de manitol que se requiere para tener una presión osmótica de -5 bars se utilizó la ecuación de Jacobus Henricus van 't Hoff:

$$\pi = \frac{RT}{V} NS$$

Donde:

π = Presión osmótica en bars

R = Constante de los gases 0.082 atm (atmósferas)

T = Temperatura 273 + °C = K

V = Volumen (1 lto)

NS = Número de moles

Con respecto a T, para convertir los grados centígrados a grados Kelvin, se utilizó una temperatura constante de 25 °C, por lo cual:

$$273 + \text{°C} = \text{K}$$

$$273 + 25 \text{ °C} = 298 \text{ K}$$

Despeje de la fórmula

$$\pi = \frac{RT}{V} NS$$

$$\pi V = RT NS$$

$$NS = \frac{\pi V}{RT}$$

Calculo para π - 5 bars:

$$NS = \frac{5 \times 1}{0.082 \times 298} = \frac{5}{24.43} = 0.20466$$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ mol} \text{ -----} 182.2 \text{ (peso molecular manitol)} \\ 0.20466 \text{ -----} X \end{array}$$

$$X = 37.2 \text{ g/l}$$

Preparación de la Solución de Manitol

En un matraz erlenmeyer se colocaron 37.2 gr de manitol y se aforó a un litro con agua destilada para tener una presión osmótica de -5 bars. Una vez hecho esto se colocó el matraz con la solución en una parrilla electromagnética con un agitador dentro de este mismo dejando el tiempo necesario para su completa homogenización, posteriormente se realizó la siembra utilizando 40 ml de la solución osmótica para cada híbrido.

Selección de Genotipos de Maíz Tolerantes a Enfermedades

Metodología

El I.M.M. ha desarrollado una metodología para seleccionar genotipos de maíz tolerantes a *Fusarium moniliforme* y a *Macrophomina phaseolina*. Se tienen cuatro técnicas que han sido desarrolladas:

1. Se utiliza medio nutritivo artificial como sustrato, adicionado con filtrado tóxico y embrión de maíz.
2. Se utiliza caja petri conteniendo tres círculos de papel sanita, filtrado tóxico y semilla de maíz.
3. Se utiliza papel secante, filtrado tóxico y semilla de maíz.
4. Técnica de palillo de dientes.

De acuerdo a estas cuatro técnicas se seleccionó la tercera por ser una técnica menos laboriosa y eficaz.

Procedimiento para la Obtención del Filtrado Tóxico de *Fusarium spp.*

Recolección en Campo de Material Enfermo

Material

Bolsa de polietileno o de estraza, talache y un objeto punzo-cortante.

Localización de Plantas Enfermas

Se muestreó en las distintas aéreas donde trabaja el I.M.M. localizando plantas infestadas por *Fusarium spp.*, mostrando síntomas como podredumbre de tallo, raíz, mazorcas necróticas (color rosa a violácea, necrótica o oscura), tallo seco, granos chupados, etc.

Preparación del Medio para el Aislamiento del Hongo Fitopatógeno

Reactivos

Medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA), agua destilada-esterilizada y alcohol al 96 por ciento.

Material y Cristalería

Matraz erlenmeyer 1000 ml, probeta graduada de 1000 ml y cajas petri.

Equipo

Balanza analítica, autoclave y parrilla electromagnética.

Procedimiento

Se pesaron 39 gr de PDA, después se colocaron en un matraz erlenmeyer y se aforó a un litro con agua destilada, se le agregó una barrita magnética y se colocó en una parrilla electromagnética para su total homogenización y posterior esterilización.

Aislamiento del Hongo en el Laboratorio

Reactivos

PDA, agua destilada-esterilizada, hipoclorito de Sodio (NaClO) o Calcio (Ca) y alcohol al 96 por ciento.

Material y Cristalería

Cajas petri, vasos de precipitado 250, 500, 1000 y 4000 ml, bisturí quirúrgico, pinzas de disección, mascarillas quirúrgicas, material vegetativo, mechero de alcohol y cinta mágica.

Equipo

Campana de flujo laminar, cuarto incubadora, microscopio compuesto binocular, micrómetro, balanza analítica, destilador, parrilla electromagnética, barras magnéticas, autoclave y estufa.

Procedimiento

Para preparar el medio de PDA, se utilizó 39 g de PDA y se colocaron en el matraz erlenmeyer aforado con 1000 ml de agua destilada y se colocó en la parrilla electromagnética para una completa homogenización; este medio fue esterilizado por medio de alta presión en una autoclave a una presión de 15 lb/pulg² a una temperatura de 120°C. Por separado se esterilizaron las cajas petri necesarias para efectuar su llenado con PDA dentro de la campana de flujo laminar. Una vez solidificado el medio se procedió a la siembra del material enfermo.

Siembra del Material Enfermo

Reactivos

PDA, agua destilada-esterilizada, alcohol al 96 por ciento e hipoclorito de Sodio (NaClO) o Calcio (Ca).

Material y Cristalería

Cajas petri, vasos de precipitado, mechero de alcohol, pinzas de disección, mascarilla quirúrgica, bisturí quirúrgico, cinta mágica y material enfermo.

Equipo

Campana de flujo laminar y cuarto incubadora.

Procedimiento

Se realizaron cortes pequeños de la planta enferma, se lavaron con una solución jabonosa al 4 por ciento y se enjuagó con agua destilada. Después se lavaron estos mismos trozos de planta con alcohol y se enjuagaron con agua destilada. Posteriormente se procedió a la esterilización de dicho material, lo cual se efectúa en un área estéril utilizando una campana de flujo laminar, que funciona a base de luz ultravioleta y filtros de aire para crear un área de total asepsia. Se lavaron los trozos de planta enferma con NaClO al 5 por ciento y se enjuagaron con agua destilada y esterilizada para después proceder a la siembra en cajas petri con el medio de PDA totalmente estéril y últimamente llevarlas a la incubadora por un período de 5 días.

Conservación del Patógeno**Reactivos**

Aceite mineral

Material y Cristalería

Pipeta 5-10 ml, cepa puro del hongo, mechero de alcohol y mascarillas quirúrgicas.

Equipo

Campana de flujo laminar, autoclave y refrigerador.

Procedimiento

Para conservar el hongo se le agregó aceite mineral (esterilizado tres veces) todo en condiciones de asepsia y se procedió a refrigerar para su posterior esterilización.

Preparación del Medio para la Obtención del Filtrado Tóxico PDS (Papa Dextrosa Sacarosa)

Reactivos y Substancias

Papa natural, dextrosa, sacarosa y agua destilada-esterilizada.

Material y Cristalería

Papel aluminio, algodón, bisturí quirúrgico, vaso de precipitado de 2000 ml, embudo büchner, matraz kitasato, matraz de 4000 ml, tapón horadado y manta de cielo.

Equipo

Parrilla eléctrica y autoclave.

Procedimiento

Se requirió de 200 gr de papa natural, cortada en trozos pequeños y colocados en un vaso de precipitados al cual se le añadió 1000 ml de agua destilada. El vaso fue colocado en la parrilla eléctrica a temperatura de ebullición, al momento de empezar a hervir se contó 30 minutos y en ese lapso de tiempo se le añadió el agua que evaporó. Una vez transcurrido los 30 minutos se procedió a filtrar con la manta de cielo, el filtrado resultante se aforó a 3000 ml con agua destilada en un matraz de 4000 ml, que contenía 30 gr de sacarosa y 20 gr de dextrosa más una barrita magnética. Después se colocó una torunda de algodón en la boca del matraz, para cubrir después esta misma

con papel aluminio y se selló perfectamente para proceder a su esterilización en la autoclave.

Inoculación del Medio PDS

Reactivos

Medio PDS, alcohol al 96 por ciento y cepa de hongo puro.

Material y Cristalería

Vaso de precipitado de 100 ml y espátula.

Equipo

Campana de flujo laminar

Procedimiento

Cuando se enfrió el medio PDS, se procedió a inocularlo con micelio aproximadamente con 6 trozos pequeños de 1 cm², todo en perfectas condiciones de asepsia.

Agitación del PDS Inoculado

Reactivos

Medio de PDS inoculado con cepa de hongo y reactivos de Benedict.

Material y Cristalería

Barritas magnéticas, matraz erlenmeyer de 4000 ml, 25 toallas de papel marca sanitas, cinta adhesiva (masking tape), 4 torundas de algodón, 1 mt de papel aluminio, tiras de glucosa, embudo büchner, papel filtro n.º 1, pinzas de disección, pizeta, agua destilada, vaso de precipitado de 500 ml, matraz kitazato de 1000 ml y 12 matraces erlenmeyer de 500 ml.

Equipo

Parrilla electromagnética, bomba de vacío y autoclave.

Procedimiento

Una vez inoculado el medio PDS en el matraz se cubrió con papel aluminio para lograr obscuridad y se colocó en la parrilla electromagnética por 15 días, en los cuales el azúcar debe consumirse por el hongo y dar lugar a la toxina. Una característica del PDS, es que al término de los 15 días la solución del matraz debe presentarse turbia o con una especie de nata. Para confirmar la ausencia de azúcares se utilizó el reactivo de Benedict o tiras de glucosa. Transcurridos los 15 días se procedió a filtrar el PDS inoculado por medio de una bomba de vacío, utilizando también el embudo büchner, matraz kitazato y el papel filtro. Una vez obtenido el filtrado tóxico se esterilizó en la autoclave en matraces de 500 ml con 250 ml de filtrado para evitar contaminación en un baño maría.

Pasteurización

Reactivos

PDS inoculado filtrado y esterilizado, y agitado por 15 días.

Material y Cristalería

12 matraces erlenmeyer de 500 ml, cada uno con 250 ml de filtrado tóxico.

Equipo

Autoclave, agua de llave y refrigerador.

Procedimiento

Una vez esterilizado el filtrado tóxico dentro de los matraces, posteriormente siguió su pasteurización (cambio drástico de temperatura, es decir, del punto de ebullición a un punto inferior de enfriamiento), llevando inmediatamente los matraces con el filtrado a refrigeración hasta el día de su utilización.

Día en Que se Utiliza el Filtrado Tóxico

Reactivos

Filtrado tóxico de *Fusarium spp.*, esterilizado y pasteurizado, alcohol al 96 por ciento, hipoclorito de Sodio (NaClO) y agua destilada-esterilizada.

Material y Cristalería

Matraz erlenmeyer de 1000 ml, probeta graduada de 1000 ml, vasos de precipitado de 100, 250 y 500 ml, mechero de alcohol, torundas de algodón, papel aluminio, papel germinador o secante, semilla de maíz, cinta doble cara, charolas de aluminio, canastillas, bolsas de polietileno y lápiz tinta especial.

Equipo

Campana de flujo laminar, balanza analítica, cuarto incubadora y refrigerador.

Procedimiento

Previamente se esterilizó el área de la campana de flujo laminar con alcohol y NaClO, después se prendió la luz ultravioleta media hora antes para una esterilización total y después se apagó, enseguida se prendieron los filtros de aire de la campana. Teniendo esto listo, se tomó un matraz con 250 ml de filtrado tóxico aforándolo en un matraz erlenmeyer de 1 lt con 750 ml de agua destilada y esterilizada, obteniendo así 1 lt de solución para posteriormente

utilizarla para la siembra. Solo se utilizó 40 ml para cada híbrido, es decir, se midió la cantidad necesaria con un vaso de precipitado de 500 ml para todos los híbridos de la siembra correspondiente, y se llevó inmediatamente el matraz con la solución sobrante al refrigerador para evitar contaminación o descomposición, el cual, la boca de este se tapó muy bien con una torunda de algodón y con papel aluminio para después poder utilizar la solución para otra siembra.

Diseño Experimental

De acuerdo a Velázquez (2006) para identificar líneas élite sobresalientes a Sequía y a *Fusarium spp.*, se estableció un diseño de bloques completamente al azar con dos repeticiones, con el objetivo de obtener y capturar los datos que generaran las seis variables de los 43 híbridos. El modelo lineal del diseño de bloques completamente al azar es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + E_{ij}$$

$j = 1, 2$ Repeticiones;

$i = 1, 2, 3, \dots, 43$ Tratamientos.

Donde:

Y_{ij} = Respuesta de la j -ésima unidad experimental con el i -ésimo tratamiento;

μ = Efecto de la media general;

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento;

β_j = Efecto del j -ésimo bloque;

E_{ij} = Efecto del error experimental en la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento.

Siembra de los Híbridos

1. Antes de sembrar, a cada hoja de papel germinador se le colocó cinta doble cara a una distancia de 10 cm al margen de hoja para facilitar la emergencia de las plántulas.

2. Se seleccionaron 15 semillas de diferente híbrido, para desinfectarlas con NaClO al 5 por ciento, es decir, se utilizaron 5 ml de NaClO aforado en un vaso de precipitados de 250 ml con 100 ml de agua destilada.
3. Se enjuagaron las semillas con agua destilada para eliminar el NaClO y para no dañar la germinación.
4. Las 15 semillas se colocaron en el papel germinador a una distancia de 2 cm entre una y otra por cada tratamiento.
5. Se utilizó 40 ml de solución (manitol o filtrado tóxico) por híbrido para un humedecimiento saturado.
6. Las semillas se envolvieron con el mismo papel germinador en forma de taco, previamente identificado por un número que correspondía a la cruz.
7. Los híbridos sembrados se metieron en una bolsa de polietileno dejándola abierta en la parte superior y esta misma se colocó dentro de una canastilla para llevarla al cuarto de incubación a una temperatura constante de 25 – 28 °C con una alternancia de luz; oscuridad de 12 hr, utilizando lámparas fluorescentes de 40 watts.

La siembra de sequía se llevó a cabo en mesas del laboratorio previamente esterilizadas con NaClO y alcohol. La siembra de *Fusarium spp.*, se realizó en la campana de flujo laminar previamente también esterilizada la área de siembra.

Riegos

Los riegos se realizaron cada tres días por cada siembra realizada con agua destilada en una charola de aluminio, sumergiendo los tacos en el agua para un buen humedecimiento.

Registro de Datos de Longitudes y Pesos Frescos

Material

Siembra de tratamientos germinados, regla graduada, hoja de campo de registro de datos, sobres pequeños de papel, cinta adhesiva (masking tape), marcador de aceite, y lápiz y/o lapicero.

Equipo

Balanza analítica y estufa de secado.

Procedimiento

Se realizó a los 10 días después de la fecha de siembra, y las variables fueron:

1. Longitud de Plúmula (LP). Característica expresada en centímetros, se midió desde la base del tallo hasta la punta de la última hoja verdadera.
2. Longitud de Raíz Seminal (LR). Característica expresada en centímetros, se obtuvo midiendo la raíz seminal que se origina del embrión de la semilla hasta donde termina.
3. Peso Fresco de Plúmula (PFP). Característica expresada en gramos, se consideró como materia fresca del tallo y hojas de la plántula.
4. Peso Fresco de Raíz (PFR). Característica expresada en gramos, se consideró la materia fresca de la raíz seminal y las raíces primarias.

Para registrar los datos de peso fresco, se separó la raíz y la plúmula quedando excluida la semilla. Después, se colocaron las dos partes de cada plántula en un sobre de papel para la obtención de 15 muestras por cada híbrido, llevándolas a una estufa de secado a una temperatura de 60 °C por tres días completos para registrar su peso seco. Debido a que las 15 semillas de diferente híbrido no germinaron excelentemente, o que algunas plántulas estaban deformes, tenían un tamaño muy pequeño para poder medirlas, ya sea

o no por el efecto del manitol o del filtrado, o que hubo extravío de plántulas, se tomaron en cuenta las mejores plántulas.

Registro de Datos de Pesos Secos

Material

Hoja de campo de registro de datos, y lápiz y/o lapicero.

Equipo

Balanza analítica

Procedimiento

Se realizó después de tres días de que se registraron los pesos frescos, y las variables fueron:

1. Peso Seco de Plúmula (PSP). Característica expresada en gramos, se consideró como materia seca acumulada por el tallo y las hojas.
2. Peso Seco de Raíz (PSP). Esta última, fue expresada también en gramos, por lo que se consideró de igual manera la materia seca acumulada por la raíz seminal y de las raíces primarias.

Estudio Genético de los Datos Usando el Análisis de Línea por Probador

Con los datos obtenidos y capturados, se procedió a calcular las medias de cada variable para los 43 híbridos simples con el programa de Excel (2007), para después estimar de forma independiente cada variable pero para todos los híbridos algunas interacciones y otros parámetros genéticos que se discutirán el capítulo IV. Para realizar tales estimaciones de los efectos genéticos de los híbridos, se utilizó el análisis de línea por probador siguiendo el modelo lineal descrito por Singh y Chaudhary (1985), debido a que este permite particionar a los híbridos en sus componentes que son línea, probador y línea por probador.

Con las medias obtenidas y con la ayuda del paquete computacional del SAS (2002), se le instaló en el programa de línea por probador para realizar el análisis genético de datos. El modelo es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + R_k + G_i + G_j + S_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Comportamiento del cruzamiento entre la i -ésima línea con el j -ésimo probador en la k -ésima repetición;

i = Número de líneas, $i = 1, 2, 3, \dots, 17$;

j = Número de probadores, $j = 1, 2, 3$;

k = Número de repeticiones, $k = 1, 2$;

μ = Efecto de la media general;

R_k = Efecto de la k -ésima repetición;

G_i = Efecto de la ACG del i -ésima línea;

G_j = Efecto de la ACG del j -ésimo probador;

S_{ij} = Efecto de la ACE para el cruzamiento entre la i -ésima línea con el j -ésimo probador;

ε_{ijk} = Efecto del error experimental asociado con la ijk -ésima observación.

La Aptitud Combinatoria General (ACG) de líneas y probadores, así como la Aptitud Combinatoria Específica (ACE) para cada híbrido pueden estimarse de acuerdo a las siguientes fórmulas descritas por Singh y Chaudhary (1985):

Estimación de efectos de ACG para las líneas:

$$L_i = x_{i\dots/pr} - x_{\dots/lpr}$$

Estimación de efectos de ACG para los probadores:

$$P_j = x_{j\dots/lr} - x_{\dots/lpr}$$

Donde:

L_i = aptitud combinatoria general de líneas;

P_j = aptitud combinatoria general de probadores;

l = número de líneas;

p = número de probadores;

r = número de repeticiones;

$X_{i...}$ = sumatoria de la i -ésima línea;

$X_{j...}$ = sumatoria del j -ésimo probador;

$X_{....}$ = es la sumatoria total.

Estimación de efectos de ACE para los híbridos:

$$S_{ij} = (x_{ij}/r) - (x_{j...}/pr) - (x_{i...}/lr) - (x_{....}/lpr)$$

Donde:

S_{ij} = es la aptitud combinatoria específica del híbrido de ixj ;

x_{ij} = es la sumatoria total por cruce de la i -ésima línea con el j -ésimo probador;

$x_{i...}$ = sumatoria de la i -ésima línea;

$x_{j...}$ = sumatoria del j -ésimo probador;

$x_{....}$ = es la sumatoria total;

l = número de líneas;

p = número de probadores;

r = número de repeticiones.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para comprobar las hipótesis y los objetivos planteados en esta investigación, en este apartado se discutirán los resultados obtenidos de la evaluación de 43 híbridos generados a partir de 17 líneas por 3 probadores, y posteriormente discutir el estudio realizado de los híbridos con el análisis de línea por probador descrito por Singh y Chaudhary (1985).

Híbridos de Maíz Sometidos a Estrés Hídrico

En el Cuadro 4.1 se presentan los cuadrados medios de las variables evaluadas en el análisis de varianza. En **tratamientos**, en las variables LR y PSR el análisis detectó diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) y diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para PFR, indicando, que los híbridos tienen una estructura genética distinta por haber dado respuestas diferentes unos de otros, debido a la combinación que surgió de cada cruce de línea por probador.

Respecto a la fuente de **bloques**, hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la variable de LR y también diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) en LP y PFR, lo que significa que los 43 tratamientos tuvieron un comportamiento diferente en cada bloque.

Cuadro 4.1 Cuadrados medios de los 43 híbridos de maíz sometidos al estrés hídrico simulado por el manitol. Saltillo, Coah., 2011.

FV	GL	LP (cm)	LR (cm)	PFP (gr)	PFR (gr)	PSP (gr)	PSR (gr)
Tratamiento	42	11.02	14.95**	0.0106	0.0037*	0.00010	0.00015**
Bloque	1	104.22**	29.18*	0.0078	0.0507**	0.00008	0.00010
Error	42	7.18	6.84	0.0078	0.0020	0.00006	0.00005
Media		9.31	18.89	0.2519	0.0988	0.0262	0.0245
CV		28.79%	13.84%	35.16%	45.67%	31.58%	30.89%

* Diferencias significativas ($P \leq 0.05$) y ** Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$); (FV) Fuentes de Variación; (GL) Grados de Libertad; (LP) Longitud de Plúmula en cm; (LR) Longitud de Raíz en cm; (PFP) Peso Fresco de Plúmula en gr; (PFR) Peso Fresco de Raíz en gr; (PSP) Peso Seco de Plúmula en gr; (PSR) Peso Seco de Raíz en gr.

Después de haber detectado diferencias estadísticas entre tratamientos, en el Cuadro 4.2 se explica de forma más clara el comportamiento de los híbridos bajo el análisis de línea por probador. Se detectaron diferencias ($P \leq 0.01$) en LP y PFR en **repeticiones**, lo que indica que las cruzas generadas de línea por probador respondieron diferente en estas dos variables. Hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la variable de PSR para **líneas**, lo cual demuestra que la composición genética de estas es diferente para la expresión de esta característica agronómica en los híbridos después de haber pasado por condiciones de estrés hídrico simulado.

Las diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en LR, PFP y PSP, y las diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para PFR y PSR en **probadores**, sugiere que los probadores utilizados tuvieron un comportamiento diferente para estas variables. Por último, las diferencias significativas ($P \leq 0.05$) que se dieron fue en la fuente de **repetición por probador** en la variable de PSR, refleja que los probadores tuvieron un comportamiento diferente en repeticiones.

Cuadro 4.2 Cuadrados medios de los 43 híbridos de maíz sometidos al estrés hídrico simulado por el manitol, obtenidos por el análisis de línea por probador. Saltillo, Coah., 2011.

FV	GL	LP (cm)	LR (cm)	PFP (gr)	PFR (gr)	PSP (gr)	PSR (gr)
Repetición	1	90.38 **	26.61	0.0079	0.0404 **	0.00005	0.00004
Línea	16	13.01	11.13	0.0114	0.0029	0.00010	0.00013 *
Probador	2	9.09	30.37 *	0.0370 *	0.0178 **	0.00040 *	0.00093 **
Lín x Prob	24	9.68	15.70	0.0062	0.0023	0.00005	0.00006
Rep x Lín	16	7.02	4.75	0.0064	0.0013	0.00003	0.00004
Rep x Prob	2	8.86	6.60	0.0108	0.0014	0.00019	0.00020 *
Error	24	6.63	8.29	0.0082	0.0025	0.00008	0.00005
Media		9.31	18.89	0.2519	0.0988	0.0262	0.0245
CV		27.66%	15.24%	36.05%	50.88%	34.13%	30.44%

* Diferencias significativas ($P \leq 0.05$) y ** Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$); (FV) Fuentes de Variación; (GL) Grados de Libertad; (LP) Longitud de Plúmula en cm; (LR) Longitud de Raíz en cm; (PFP) Peso Fresco de Plúmula en gr; (PFR) Peso Fresco de Raíz en gr; (PSP) Peso Seco de Plúmula en gr; (PSR) Peso Seco de Raíz en gr.

En el Cuadro 4.3 se presentan los efectos de ACG que exhibieron cada una de las 17 líneas para las seis variables evaluadas. En la variable de LP las líneas **6** y **10** fueron las que presentaron valores significativos para efectos de ACG. Tales resultados coinciden con los de Teruel *et al.* (2008) al encontrar diferencias significativas de LP entre distintas líneas con base en efectos favorables de ACG al evaluar sus cruzas dialélicas F_1 , también en condiciones faltantes de humedad en laboratorio utilizando el reactivo de polientilenglicol.

Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con los de Velázquez (2006), quien evaluó directamente la germinación y plántulas de líneas elite de maíz bajo condiciones de laboratorio, con el objetivo de seleccionar las más sobresalientes a través de LP usando manitol.

Cuadro 4.3 Valores de Aptitud Combinatoria General (ACG) de las 17 líneas obtenidos a través de sus 43 híbridos de maíz sometidos al estrés hídrico simulado por manitol. Saltillo, Coah., 2011.

# L	LP (cm)		LR (cm)		PFP (gr)		PFR (gr)		PSP (gr)		PSR (gr)	
	ACG	LO	ACG	LO	ACG	LO	ACG	LO	ACG	LO	ACG	LO
1	1.415	4	1.259	4	0.036	4	-0.011	13	0.001	7	-0.0004	9
2	-1.421	14	-1.282	16	-0.051	14	-0.043	16	-0.002	13	-0.007 *	15
3	-0.472	11	-0.068	8	0.012	7	0.044	2	0.004	5	0.008 *	3
4	0.192	7	-0.417	12	0.008	9	-0.011	12	0.0006	9	-0.001	10
5	-0.830	13	-0.377	10	-0.043	13	-0.010	11	-0.005	14	-0.004	13
6	3.116 *	1	0.415	7	0.066	2	-0.009	10	0.007	2	0.002	6
7	-1.452	15	-0.503	14	-0.083	17	-0.050 *	17	-0.005	15	-0.008 *	17
8	1.398	5	1.857	3	0.012	8	0.0009	7	-0.001	11	-0.002	11
9	-0.810	12	-0.565	15	0.018	6	0.011	6	0.001	8	0.001	8
10	2.577 *	2	2.726	1	0.049	3	0.018	5	0.005	3	0.010 **	2
11	0.016	8	-0.395	11	0.002	10	0.026	4	0.001	6	0.003	5
12	-0.093	9	-0.468	13	-0.008	12	-0.004	9	-0.002	12	-0.002	12
13	-0.358	10	0.713	5	0.032	5	0.029	3	0.004	4	0.006	4
14	-2.185	16	-3.922 **	17	-0.070	16	-0.013	14	-0.008	17	-0.006	14
15	2.445	3	2.030	2	0.133 **	1	0.069 **	1	0.010 *	1	0.012 **	1
16	0.563	6	0.658	6	-0.004	11	-0.001	8	0.0001	10	0.001	7
17	-3.169 *	17	-0.142	9	-0.068	15	-0.023	15	-0.007	16	-0.007 *	16

* Significancia de efecto de ACG ($P \leq 0.05$); ** Alta significancia de efecto de ACG ($P \leq 0.01$); ** Alta significancia negativa de efecto de ACG ($P \geq 0.99$); * Significancia negativa de efecto de ACG ($P \geq 0.95$ y $P \leq 0.99$); (# L) Número de Línea; (LO) Lugar Ocupado en base a sus efectos de ACG; (LP) Longitud de Plúmula en cm; (LR) Longitud de Raíz en cm; (PFP) Peso Fresco de Plúmula en gr; (PFR) Peso Fresco de Raíz en gr; (PSP) Peso Seco de Plúmula en gr; (PSR) Peso Seco de Raíz en gr.

Las líneas **3** y **10** presentaron efectos favorables de ACG en la variable de PSR. Siguiendo con otra línea de este cuadro que presentó efectos favorables de ACG para esta condición osmótica estresante; la línea **15** tuvo un comportamiento sobresaliente ya que presentó los valores más altos de ACG significativos en las variables de PFP, PFR, PSP y PSR. Estos progenitores tienen un aceptable efecto positivo de ACG, sobre todo la línea 15, que puede ser utilizada en la formación de híbridos tolerantes a la falta de humedad. Estos resultados tienen semejanza con los de Gutiérrez *et al.* (2002), él seleccionó líneas sobresalientes de la UAAAN con efectos favorables de ACG para rendimiento de grano, al evaluar sus cruzas dialélicas en condiciones de campo

en zonas semiáridas de la Comarca Lagunera, en suelos salinos, difíciles de manejar y con precipitaciones inferiores al promedio.

Las líneas que presentaron efectos desfavorables en ACG y significativamente diferentes de cero; fueron la línea **2** en PSR, la **7** en las variables PFR y PSR, el progenitor **14** tuvo un valor negativo en LR, y por último, la línea **17** también se destacó por valores inferiores a cero en las variables de LP y PSR, lo que nos indica que estas líneas no serían candidatas a seleccionarse para la formación de híbridos para tolerancia a sequía.

En el Cuadro 4.4 se muestran los efectos de ACG que presentaron los tres probadores. Los probadores **1** y **3** generaron buena descendencia para tolerancia a sequía en la variable de PSR. Por otro lado, el probador **2** exhibió efectos negativos de ACG en 5 variables.

Cuadro 4.4 Valores de Aptitud Combinatoria General (ACG) de los 3 probadores obtenidos a través de sus 43 híbridos de maíz que se sometieron al estrés hídrico simulado por manitol. Saltillo, Coah., 2011.

# P	LP (cm)		LR (cm)		PFP (gr)		PFR (gr)		PSP (gr)		PSR (gr)	
	ACG	LO	ACG	LO	ACG	LO	ACG	LO	ACG	LO	ACG	LO
1	0.147	2	0.310	2	0.023	2	0.017	1	0.001	2	0.003 *	2
2	-0.743	3	-1.356 *	3	-0.055 **	3	-0.038 **	3	-0.005 **	3	-0.008 **	3
3	0.496	1	0.865	1	0.024	1	0.016	2	0.003	1	0.003 *	1

* Significancia de efecto de ACG ($P \leq 0.05$); ** Alta significancia de efecto de ACG ($P \leq 0.01$); ** Alta significancia negativa de efecto de ACG ($P \geq 0.99$); * Significancia negativa de efecto de ACG ($P \geq 0.95$ y $P \leq 0.99$); (# P) Número de Probador; (LO) Lugar Ocupado en base a sus efectos de ACG; (LP) Longitud de Plúmula en cm; (LR) Longitud de Raíz en cm; (PFP) Peso Fresco de Plúmula en gr; (PFR) Peso Fresco de Raíz en gr; (PSP) Peso Seco de Plúmula en gr; (PSR) Peso Seco de Raíz en gr.

De acuerdo con los resultados, los probadores 1 y 3 no son eficientes en la discriminación de las 17 líneas de maíz en la variable de PSR, es decir, estos enmascararon el potencial genético de las líneas. Vivek *et al.* (2008) mencionan que un buen probador debe facilitar la discriminación entre genotipos o líneas de maíz con base en la aptitud combinatoria y otras características deseadas.

Por otro lado, el probador 2 al exhibir efectos de ACG negativos indica que este es un excelente probador bajo condiciones de sequía.

En el Cuadro 4.5 se presentan los valores de ACE que exhibieron los 43 híbridos simples de maíz que surgieron de las 17 líneas por los 3 probadores. Puede observarse en el cuadro, el híbrido **19** (L4 x P2) fue el que mostró el efecto con valor negativo y estadísticamente diferente de cero de ACE en la variable de LR; significa, que estos progenitores al haber dado origen a este material, este manifestó el peor comportamiento en longitud de raíz bajo las condiciones osmóticas estresantes de sequía imitada en el laboratorio.

En esta misma variable el híbrido **31** (L4 x P3) presentó un valor significativo de efecto favorable de ACE, señalando que esta cruce específica generó un híbrido sobresaliente en esta característica agronómica, que es deseable que la desarrollen híbridos o variedades para poder explorar a más profundidad el agua en el suelo, con el objetivo de tolerar la sequía por más tiempo, ya sea en zonas con problemas precipitación, mal drenaje de suelos o por problemas de que puedan guardar humedad a profundidades más bajas, etc.

Estos resultados coinciden con los de Teruel *et al.* (2008) al evaluar cruces dialélicas F_1 en condiciones de laboratorio bajo la simulación de ausencia de humedad con polietilenglicol, encontró efectos favorables de ACE, por lo que les fue posible seleccionar combinaciones promisorias de maíz con buena longitud de raíz y por medio de otras variables.

Cuadro 4.5 Valores de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) de los 43 híbridos de maíz que se sometieron a estrés hídrico por el manitol. Saltillo, Coah., 2011.

# H	LP (cm)		LR (cm)		PFP (gr)		PFR (gr)		PSP (gr)		PSR (gr)	
	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO
1	0.290	24	-1.196	33	-0.005	25	-0.009	31	0.0002	22	-0.0050	36
2	0.473	22	-1.400	34	0.061	3	0.018	11	0.0053	4	0.0025	15
3	-2.785	41	-1.583	38	-0.103	43	-0.061	43	-0.0065	40	-0.0060	37
4	2.997	2	2.888	5	0.055	7	-0.008	29	0.0053	5	-0.0014	28
5	-0.549	27	0.967	13	-0.030	32	-0.029	37	-0.0019	30	-0.0032	33
6	1.240	8	0.644	16	0.013	19	0.010	17	0.0007	20	-0.0002	24
7	0.186	25	-0.254	27	0.016	16	-0.022	35	0.0024	13	-0.0019	30
8	0.792	14	1.254	10	-0.003	24	-0.040	38	-0.0002	24	-0.0035	34
9	-1.879	39	1.388	8	-0.032	34	0.023	8	-0.0024	33	0.0014	19
10	-1.239	31	-1.434	35	0.012	20	0.017	13	-0.0016	29	-0.0073	40
11	-2.310	40	-3.291	41	-0.049	36	-0.003	27	-0.0043	36	-0.0018	29
12	-0.267	26	1.959	7	0.020	13	0.015	14	0.0016	16	0.0068	5
13	-1.696	37	-0.445	30	-0.055	38	0.0005	26	-0.0076	41	0.0030	13
14	0.519	20	-0.368	28	0.006	21	0.030	6	0.0009	19	0.0047	7
15	0.687	16	-0.130	25	-0.022	30	0.014	15	-0.0047	37	-0.0004	25
16	1.330	7	0.735	14	0.038	11	0.002	22	0.0030	12	0.0013	21
17	-1.755	38	0.995	12	-0.013	28	0.010	18	-0.0055	38	0.0022	16
18	1.081	11	3.159	3	0.017	14	0.009	19	0.0031	10	0.0034	12
19	-3.410	42	-7.547 **	43	-0.062	40	-0.005	28	-0.0062	39	-0.0079	41
20	-1.616	36	-3.744	42	-0.036	35	-0.009	30	-0.0015	28	0.00003	22
21	-0.644	29	0.401	19	0.017	15	0.011	16	0.0030	11	0.0052	6
22	0.409	23	1.300	9	0.014	18	0.043	1	0.0014	18	0.0069	4
23	-1.273	32	-0.437	29	-0.030	33	0.002	23	-0.0009	27	0.0026	14
24	1.737	5	3.192	2	0.059	5	0.001	24	0.0047	6	-0.0007	26
25	0.847	13	0.515	17	0.043	9	0.038	4	0.0047	7	0.0075	2
26	4.233	1	1.254	11	0.070	2	0.001	25	0.0079	2	0.0014	18
27	0.736	15	0.658	15	0.003	22	-0.012	33	-0.0008	26	-0.0032	32
28	1.132	10	2.123	6	0.050	8	0.030	5	0.0035	9	0.0069	3
29	0.595	18	0.258	22	-0.060	39	-0.050	40	-0.0030	34	-0.0001	23
30	-0.600	28	-0.023	23	-0.013	27	-0.016	34	-0.0024	32	-0.0027	31
31	0.512	21	4.839 *	1	0.014	17	0.019	9	0.0016	17	0.0105	1
32	2.265	3	2.958	4	0.074	1	0.043	2	0.0042	8	0.0043	8
33	0.672	17	0.280	21	-0.002	23	0.006	20	0.0002	21	0.0037	10
34	-3.867	43	-3.033	40	-0.083	42	-0.011	32	-0.0088	43	-0.0071	39
35	-1.084	30	-0.243	26	-0.007	26	0.019	10	-0.0007	25	0.0034	11
36	-1.552	35	-1.573	36	-0.049	37	-0.055	41	-0.0037	35	-0.0105	43

Cuadro 4.5 Continuación.....

# H	LP (cm)		LR (cm)		PFP (gr)		PFR (gr)		PSP (gr)		PSR (gr)	
	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO
37	1.563	6	0.382	20	0.026	12	0.004	21	0.0060	3	0.0039	9
38	-1.455	34	-1.577	37	-0.071	41	-0.023	36	-0.0077	42	-0.0048	35
39	1.058	12	-0.031	24	0.059	4	0.017	12	0.0092	1	0.0013	20
40	-1.331	33	-1.045	32	-0.025	31	-0.047	39	0.000009	23	-0.0070	38
41	2.141	4	0.407	18	0.055	6	0.027	7	0.0018	15	-0.0014	27
42	0.579	19	-0.636	31	0.041	10	0.043	3	0.0019	14	0.0020	17
43	1.235	9	-2.564	39	-0.015	29	-0.056	42	-0.0022	31	-0.0089	42

* Significancia de efecto de ACE ($P \leq 0.05$); ** Alta significancia de efecto de ACE ($P \leq 0.01$); ** Alta significancia negativa de efecto de ACE ($P \geq 0.99$); * Significancia negativa de efecto de ACE ($P \geq 0.95$ y $P \leq 0.99$); (# H) Número de Híbrido; (LO) Lugar Ocupado en base a sus efectos de ACE; (LP) Longitud de Plúmula en cm; (LR) Longitud de Raíz en cm; (PFP) Peso Fresco de Plúmula en gr; (PFR) Peso Fresco de Raíz en gr; (PSP) Peso Seco de Plúmula en gr; (PSR) Peso Seco de Raíz en gr.

Sobrado (1991) evaluó dos cultivares contrastantes de maíz tropical en invernadero en condiciones de sequía y de riego, encontrando que un solo cultivar al haberse recuperado después de haberle aplicarle el riego y aun después de haber pasado por la sequía aplicada, solo este mismo tuvo la capacidad para mantener el desarrollo radical aun bajo condiciones de sequía, el autor lo sugirió como una forma adaptiva que debe tener el maíz tropical para soportar sequías esporádicas de corta duración.

Resto a los demás valores de ACE que mostraron estos 43 híbridos en cada una de las variables evaluadas, pero sin significancia estadística, todos los valores tienen un efecto igual a cero.

Híbridos de Maíz Inoculados con el Filtrado Tóxico de *Fusarium spp.*

En el Cuadro 4.6 se muestran los cuadrados medios de las variables que dio el análisis de varianza. El ANVA detectó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre **tratamientos** para la variable LR, y diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para las variables PFP, PFR, PSP y PSR; esto se atribuye a que cada tratamiento o híbrido por medio de sus atributos genéticos mostró diferente comportamiento frente a las toxinas de *Fusarium spp.*, lo que permitirá después, su selección de progenitores para tolerancia a este patógeno.

Cuadro 4.6 Cuadrados medios de los 43 híbridos de maíz sometidos al filtrado tóxico de *Fusarium spp.* Saltillo, Coah., 2011.

FV	GL	LP (cm)	LR (cm)	PFP (gr)	PFR (gr)	PSP (gr)	PSR (gr)
Tratamiento	42	3.54	4.53*	0.0068**	0.0053**	0.00007**	0.00015**
Bloque	1	363.09**	8.59	0.2746**	0.0034	0.00053**	0.00017*
Error	42	2.99	2.58	0.0028	0.0012	0.00003	0.00002
Media		12.52	20.62	0.3223	0.1326	0.0327	0.0318
CV		13.81%	7.79%	16.62%	26.54%	18.22%	16.95%

* Diferencias significativas ($P \leq 0.05$) y ** Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$); (FV) Fuentes de Variación; (GL) Grados de Libertad; (LP) Longitud de Plúmula en cm; (LR) Longitud de Raíz en cm; (PFP) Peso Fresco de Plúmula en gr; (PFR) Peso Fresco de Raíz en gr; (PSP) Peso Seco de Plúmula en gr; (PSR) Peso Seco de Raíz en gr.

El ANVA también detectó diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para **bloques** en las variables de LP, PFP y PSP, y diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en PSR; esto significa, que los materiales tuvieron un comportamiento diferente en cada bloque.

En el Cuadro 4.7 se presentan los cuadrados medios del análisis de línea por probador de las variables que se evaluaron en cada uno de los híbridos inoculados con el filtrado tóxico.

Cuadro 4.7 Cuadrados medios de los 43 híbridos de maíz sometidos al filtrado tóxico de *Fusarium spp.*, obtenidos por el análisis de línea por probador. Saltillo, Coah., 2011.

FV	GL	LP (cm)	LR (cm)	PFP (gr)	PFR (gr)	PSP (gr)	PSR (gr)
Repetición	1	330.32 **	4.85	0.2423 **	0.0024	0.000496 **	0.00013 *
Línea	16	5.36 *	5.53	0.0068 *	0.0021	0.000126 **	0.00008 **
Probador	2	0.37	21.38 **	0.0501 **	0.0658 **	0.000148 *	0.00169 **
Lín x Prob	24	2.47	2.95	0.0034	0.0028	0.000038	0.00007 **
Rep x Lín	16	3.92	2.39	0.0031	0.0010	0.000045	0.00003
Rep x Prob	2	0.54	2.22	0.0011	0.0005	0.000004	0.00001
Error	24	2.50	2.65	0.0028	0.0014	0.000031	0.00002
Media		12.52	20.62	0.3223	0.1326	0.0327	0.0318
CV		12.64%	7.89%	16.69%	28.88%	17.10%	15.76%

* Diferencias significativas ($P \leq 0.05$) y ** Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$); (FV) Fuentes de Variación; (GL) Grados de Libertad; (LP) Longitud de Plúmula en cm; (LR) Longitud de Raíz en cm; (PFP) Peso Fresco de Plúmula en gr; (PFR) Peso Fresco de Raíz en gr; (PSP) Peso Seco de Plúmula en gr; (PSR) Peso Seco de Raíz en gr.

El análisis detectó diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para **repeticiones** en las variables de LP, PFP y PSP, y también diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en PSR, indicando que los híbridos bajo estas condiciones dieron respuesta diferente en cada repetición. Para **líneas**, se detectaron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) en LP y PFP, y diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en las variables de PSP y PSR, esto señala, que el potencial genético que tienen las líneas es muy diferente para expresarse en estas variables que estuvieron bajo estrés por las toxinas de *Fusarium spp.*

En **probadores** también se detectaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para las variables de LR, PFP, PFR y PSR, y diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en PSP, esto indica, que los probadores que intervinieron en los cruzamientos, tuvieron un comportamiento muy distinto en las variables que formaron parte de esta investigación en cada uno de los materiales evaluados. Y las últimas diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$), que detectó el análisis fue en la variable de PSR para la fuente de **línea por probador**, esto

significa, que las líneas tuvieron un comportamiento diferente al haberse cruzado con los distintos probadores; debido a que los probadores tienen diferente capacidad para discriminar a las líneas que pueden o no presentar atributos para tolerancia a un determinado patógeno.

Cabe mencionar, que en este análisis y en el diseño de bloques se dieron más diferencias significativas que en lo realizado en lo de sequía. Esto se debe, a que las líneas y probadores, respondieron con más variabilidad genética al expresarse por medio de las variables evaluadas en cada uno de los híbridos expuestos a tales toxinas.

En el Cuadro 4.8 se visualizan los efectos de ACG que presentaron las 17 líneas en cada una de las variables. Las que presentaron efectos favorables de ACG en la variable de LP fueron las líneas **6** y **12**. Estos resultados coinciden con los reportados por Velázquez (2006), evaluó en laboratorio un grupo de 32 líneas elite de maíz para tolerancia a toxinas de *Fusarium moniliforme*, él encontró solo una línea como la más sobresaliente en LP para tal tolerancia.

La línea 6 también presentó valores altos para ACG en tres variables; PFP, PSP y PSR. La línea **13** en la variable de PFR y la **15** en PFP y PSP, tuvieron valores significativos de ACG. Estos efectos aceptables de estas 4 líneas demuestran en sus diferentes variables, que al haberse cruzado con los distintos probadores tienen buenos efectos de ACG siendo como indicadores para tolerancia a las toxinas que produce *Fusarium spp.*, al infestar plantas de maíz, sobretodo la línea 6 que se ve como la más prometedora en formación híbridos tolerantes a este hongo.

Cuadro 4.8 Valores de Aptitud Combinatoria General (ACG) de las 17 líneas obtenidos a través de sus 43 híbridos de maíz que se sometieron al filtrado tóxico de *Fusarium spp.* Saltillo, Coah., 2011.

# L	LP (cm)		LR (cm)		PFP (gr)		PFR (gr)		PSP (gr)		PSR (gr)	
	ACG	LO	ACG	LO	ACG	LO	ACG	LO	ACG	LO	ACG	LO
1	-0.849	14	-0.305	13	-0.043	16	-0.018	15	-0.002	10	-0.004	16
2	0.135	8	1.414	1	0.011	8	-0.004	9	0.005	3	0.002	6
3	-0.165	9	-0.116	12	-0.040	15	0.025	2	-0.004	15	0.001	8
4	-0.371	11	0.301	8	-0.023	12	0.001	7	-0.004	12	-0.002	12
5	-1.065	16	1.165	2	-0.034	13	0.012	4	-0.004	14	-0.002	13
6	1.832 *	1	0.615	3	0.062 *	2	-0.007	12	0.012 **	1	0.005 *	1
7	0.635	5	0.362	6	-0.010	10	-0.024	16	-0.005 *	16	-0.007 **	17
8	1.106	3	0.321	7	-0.020	11	-0.0002	8	-0.003	11	-0.001	10
9	-2.472 **	17	-1.930 *	16	-0.054 *	17	0.002	6	-0.006 *	17	-0.004	15
10	-0.308	10	-0.522	14	0.012	7	-0.028	17	0.004	4	0.003	5
11	-0.420	12	0.389	5	0.016	6	-0.009	14	0.003	5	0.004	3
12	1.732 *	2	0.466	4	0.037	3	-0.009	13	0.001	7	-0.001	9
13	0.239	7	0.267	9	0.028	5	0.037 *	1	-0.0004	8	0.004	4
14	-0.442	13	-1.503	15	0.032	4	0.016	3	0.003	6	0.002	7
15	0.968	4	0.077	10	0.064 *	1	0.002	5	0.005 *	2	0.004	2
16	0.452	6	0.010	11	-0.036	14	-0.004	10	-0.004	13	-0.003	14
17	-1.038	15	-2.273 **	17	-0.007	9	-0.006	11	-0.001	9	-0.001	11

* Significancia de efecto de ACG ($P \leq 0.05$); ** Alta significancia de efecto de ACG ($P \leq 0.01$); ** Alta significancia negativa de efecto de ACG ($P \geq 0.99$); * Significancia negativa de efecto de ACG ($P \geq 0.95$ y $P \leq 0.99$); (# L) Número de Línea; (LO) Lugar Ocupado en base a sus efectos de ACG; (LP) Longitud de Plúmula en cm; (LR) Longitud de Raíz en cm; (PFP) Peso Fresco de Plúmula en gr; (PFR) Peso Fresco de Raíz en gr; (PSP) Peso Seco de Plúmula en gr; (PSR) Peso Seco de Raíz en gr.

De forma contraria no pasó lo mismo con las líneas **7**, **9** y **17**, ya que estas mostraron efectos adversos de ACG en las variables de evaluación de LP, LR, PFP, PSP y PSR, siendo la línea 9 como la más inferior al mostrarse en cuatro variables con efectos significativamente diferentes de cero. Lo que por lógica indica que estas líneas no son ideales para el desarrollo de híbridos tolerantes a este género de hongo.

Estos resultados se parecen a los encontrados por Iglesias *et al.* (2011) a diferencia de que este evaluó todos los cruzamientos dialélicos posibles de dos líneas de maíz resistentes por dos susceptibles a *Fusarium verticillioides* (antes *moniliforme*) en condiciones de campo bajo experimentos inoculados

artificialmente, encontrando efectos favorables de ACG en ambos progenitores resistentes y efectos desfavorables en las susceptibles. Además, menciona que la importancia de la ACG sugiere que en la formación de híbridos resistentes a ese patógeno debe realizarse con progenitores resistentes usados indistintamente como hembra (♀) o macho (♂).

Además, los resultados de esta investigación se relaciona con lo realizado por Córdoba (1972), él investigó en una cámara germinadora (25° C) la reacción de 50 líneas de maíz a nivel plántula a través de siete métodos de inoculación artificial; donde el séptimo método (inoculación en cajas petri y traspaso a toallas de papel) le resultó eficiente para identificar 8 líneas resistentes a *Fusarium moniliforme*, 4 líneas resistentes a *F. graminearum* y 4 líneas resistentes a ambas especies.

Los demás valores de ACG que manifestaron las 17 líneas en cada una de las variables, tienen un comportamiento estadísticamente igual.

Después de haber identificado efectos favorables y desfavorables de este tipo de habilidad combinatoria de las líneas, en el Cuadro 4.9 se presentan los efectos de ACG exhibidos por los probadores, después de haber analizado sus cruzamientos con las diferentes líneas y de sus distintos híbridos que formaron parte y que estuvieron bajo el filtrado tóxico en el laboratorio.

El probador 1 y 3 dieron origen a buenos híbridos con tolerancia a las toxinas de *Fusarium spp.*, manifestando efectos positivos de ACG significativamente en cuatro variables; PFP, PFR, PSP y PSR; esto indica, que no son buenos probadores al encubrir el potencial genético de las líneas; sobre todo el probador 1, por ser ineficiente en discriminación de líneas para tolerancia a la proliferación de toxinas en las respectivas variables.

Cuadro 4.9 Valores de Aptitud Combinatoria General (ACG) de los 3 probadores obtenidos a través de sus 43 híbridos de maíz que se sometieron al filtrado tóxico de *Fusarium spp.* Saltillo, Coah., 2011.

# P	LP (cm)		LR (cm)		PFP (gr)		PFR (gr)		PSP (gr)		PSR (gr)	
	ACG	LO	ACG	LO	ACG	LO	ACG	LO	ACG	LO	ACG	LO
1	0.123	2	0.459	1	0.040 **	1	0.034 **	1	0.002 *	1	0.005 **	1
2	0.188	1	-0.909 *	3	-0.041 **	3	-0.055 **	3	-0.002	3	-0.009 **	3
3	-0.286	3	0.329	2	-0.004	2	0.014	2	-0.0004	2	0.002 *	2

* Significancia de efecto de ACG ($P \leq 0.05$); ** Alta significancia de efecto de ACG ($P \leq 0.01$); ** Alta significancia negativa de efecto de ACG ($P \geq 0.95$ y $P \leq 0.99$); (# P) Número de Probador; (LO) Lugar Ocupado en base a sus efectos de ACG; (LP) Longitud de Plúmula en cm; (LR) Longitud de Raíz en cm; (PFP) Peso Fresco de Plúmula en gr; (PFR) Peso Fresco de Raíz en gr; (PSP) Peso Seco de Plúmula en gr; (PSR) Peso Seco de Raíz en gr.

El probador **2** generó cruza deficientes de tolerancia a tal filtrado en las variables de LR, PFP, PFR y PSR, en las cuales, este mostró valores negativos de significancia estadística para efectos de ACG, lo que significa que es un excelente probador pues permite que se presente los daños de las toxinas.

Finalmente, en el Cuadro 4.10 se concentran los híbridos que estuvieron bajo el estrés de las toxinas de este hongo en el laboratorio con sus distintos valores de ACE. El híbrido **31** (L4 x P3) y **32** (L5 x P3) presentaron efectos aceptables de ACE en la variable de PSR, esto indica, que la hibridación específica de estas dos líneas por el probador tres procrearon híbridos que expresaron buenos efectos de esta aptitud específica como indicadores de tolerancia a *Fusarium spp.*, en esta variable. Estos resultados se relacionan un poco con lo reportado por Iglesias *et al.* (2011) al realizar inoculación artificial en campo para poder identificar cruza dialélicas con efectos de ACE favorables en algunas cruza de líneas resistentes de maíz por susceptibles para resistencia a *F. verticillioides*.

Cuadro 4.10 Valores de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) de los 43 híbridos de maíz que se sometieron al filtrado tóxico de *Fusarium spp.* Saltillo, Coah., 2011.

# H	LP (cm)		LR (cm)		PFP (gr)		PFR (gr)		PSP (gr)		PSR (gr)	
	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO
1	0.362	15	-1.258	38	0.006	19	-0.007	26	-0.0007	26	-0.0036	34
2	-0.213	29	0.670	13	0.008	30	0.013	15	-0.0004	25	-0.0005	25
3	0.215	18	-0.225	25	0.002	23	-0.012	29	0.0027	10	0.0003	22
4	0.142	19	-1.455	40	0.018	12	-0.005	24	0.0014	16	-0.0015	28
5	0.472	13	-0.553	29	0.013	15	-0.016	31	0.0012	17	-0.0034	33
6	1.019	6	1.036	6	-0.044	39	-0.018	32	-0.0022	32	-0.0030	32
7	-0.635	32	-0.451	28	0.007	17	0.030	10	-0.0004	24	0.0013	17
8	1.060	5	0.666	14	0.036	8	0.017	13	0.0031	9	0.0012	19
9	0.876	8	1.194	4	0.063	1	0.051	3	0.0055	2	0.0080	3
10	-0.963	38	-1.545	41	-0.035	37	-0.021	33	-0.0037	37	-0.0092 *	42
11	-2.090	43	-0.630	34	-0.028	34	0.018	12	-0.0038	38	-0.0015	27
12	-0.174	27	0.675	12	0.004	21	0.019	11	0.0014	15	0.0072	4
13	0.361	16	0.854	10	0.006	20	-0.001	21	-0.0000005	23	0.0059	8
14	-0.187	28	0.884	9	-0.033	35	-0.039	41	-0.0026	33	0.0004	20
15	-0.801	36	-0.866	37	-0.049	41	-0.025	35	-0.0069	42	-0.0062	39
16	0.127	20	-0.035	21	0.038	6	0.038	6	0.0040	6	0.0069	5
17	-1.968	42	-0.577	32	-0.025	33	0.007	18	-0.0007	27	0.0031	13
18	0.451	14	-0.139	23	0.019	10	0.032	7	-0.0028	34	-0.0018	30
19	-0.024	21	0.640	15	0.001	24	-0.029	37	-0.0014	30	-0.0055	37
20	-0.982	39	-1.377	39	-0.046	40	-0.030	38	-0.0047	40	-0.0039	36
21	-1.331	41	-0.585	33	0.045	5	0.039	5	0.0021	11	0.0067	6
22	0.324	17	0.901	8	-0.006	29	-0.008	28	0.0002	21	0.0022	14
23	-1.005	40	0.318	18	-0.034	36	-0.016	30	-0.0029	35	0.0004	21
24	1.530	2	-0.448	27	0.019	11	-0.005	23	0.0051	4	-0.0014	26
25	-0.696	34	0.235	19	-0.003	26	0.009	16	0.0009	18	0.0034	11
26	1.061	4	1.067	5	-0.012	31	-0.003	22	-0.0019	31	-0.0038	35
27	-0.286	31	-0.577	31	-0.055	42	-0.048	42	-0.0049	41	-0.0068	40
28	0.854	9	-0.655	35	0.045	4	0.031	9	0.0060	1	0.0063	7
29	1.126	3	0.756	11	0.0001	25	-0.026	36	0.0018	13	0.0012	18
30	0.795	10	0.344	17	0.049	3	0.031	8	0.0017	14	0.0033	12
31	-0.143	26	0.936	7	-0.014	32	0.042	4	0.0003	20	0.0083 *	2
32	0.484	12	2.053	1	0.038	7	0.055	2	0.0038	7	0.0086 *	1
33	0.534	11	1.199	3	0.014	13	-0.005	25	-0.0009	28	0.0042	9
34	-0.912	37	-1.620	42	0.012	16	-0.008	27	0.0008	19	-0.0021	31
35	-0.029	22	0.616	16	0.007	18	0.002	20	-0.0013	29	-0.0001	23
36	-0.691	33	-0.107	22	-0.006	28	0.015	14	-0.0030	36	-0.0056	38

Cuadro 4.10 Continuación.....

# H	LP (cm)		LR (cm)		PFP (gr)		PFR (gr)		PSP (gr)		PSR (gr)	
	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO
37	1.580	1	1.957	2	0.024	9	0.007	17	0.0018	12	0.0017	16
38	-0.263	30	-0.409	26	-0.005	27	-0.038	40	0.0036	8	0.0036	10
39	-0.099	25	-0.156	24	0.054	2	0.057	1	0.0052	3	0.0021	15
40	0.964	7	0.078	20	0.013	14	-0.022	34	0.0050	5	-0.0017	29
41	-0.052	23	-0.563	30	-0.038	38	-0.036	39	-0.0046	39	-0.0082	41
42	-0.080	24	-0.863	36	0.003	22	0.006	19	0.0001	22	-0.0005	24
43	-0.713	35	-1.983	43	-0.099 *	43	-0.099 **	43	-0.0074	43	-0.0160**	43

* Significancia de efecto de ACE ($P \leq 0.05$); ** Alta significancia de efecto de ACE ($P \leq 0.01$); ** Alta significancia negativa de efecto de ACE ($P \geq 0.99$); * Significancia negativa de efecto de ACE ($P \geq 0.95$ y $P \leq 0.99$); (# H) Número de Híbrido; (LO) Lugar Ocupado en base a sus efectos de ACE; (LP) Longitud de Plúmula en cm; (LR) Longitud de Raíz en cm; (PFP) Peso Fresco de Plúmula en gr; (PFR) Peso Fresco de Raíz en gr; (PSP) Peso Seco de Plúmula en gr; (PSR) Peso Seco de Raíz en gr.

El cruzamiento **10** (L10 x P1) es el híbrido que presentó efectos de ACE con valor estadísticamente inferior a cero en PSR, como también se observa, el híbrido específico **#43** (L9 x P3) manifestó efectos negativos significativamente diferentes de cero para ACE, en tres variables; PFP, PFR y PSR. Estos resultados apuntan que estos dos cruzamiento específicos, formaron materiales que no tuvieron buenas respuesta de defensa hacia las toxinas de este patógeno en las respectivas variables, refiriéndose más al híbrido 43 como el de peor comportamiento, respectivamente.

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación se concluye lo siguiente:

En el experimento de sequía, la línea 15 fue la más sobresaliente en efectos favorables de ACG y para el experimento de filtrado tóxico de *Fusarium spp.*, la mejor línea fue la 6 también con base a sus efectos de ACG.

Las combinaciones con buena ACE para tolerancia a sequía imitada por tal reactivo, fue el híbrido 31 en la variable de LR; los materiales con buena aptitud específica para tolerancia al filtrado tóxico de *Fusarium spp.*, fueron los híbridos 31 y 32 en PSR; por esto, se recomienda realizar selección recurrente para Aptitud Combinatoria Específica, para mejorar efectos de tal aptitud para los dos condiciones de estrés.

VI. RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo en el 2011 en el laboratorio de Cultivo “*In Vitro*” de Tejidos Vegetales perteneciente al Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” de la UAAAN. 43 híbridos simples generados de 17 líneas por 3 probadores procedentes de la localidad del Prado Nuevo León (El Mezquite) en el ciclo Prim-Ver 2009, se evaluaron por medio de tacos germinadores embebidos con manitol como un agente secuestrador de humedad como simulador de sequía y con filtrado tóxico de *Fusarium spp.*, siendo técnicas antes utilizadas en trabajos de investigación en dicho laboratorio, para identificar líneas o criollos de maíz tolerantes a sequía y al daño que causa este hongo.

Se utilizó el diseño de bloques completamente al azar con dos repeticiones para establecer los dos experimentos para posteriormente hacer el análisis de varianza con este diseño.

Para el experimento de sequía simulada, sobre las mesas del laboratorio desinfectadas se sembraron 15 semillas de maíz de diferente híbrido en papel germinador y se enredó en forma de taco empapado con manitol que generó una presión osmótica de -5 bars, para luego llevar los materiales sembrados a un cuarto incubadora con temperatura y luz controlada. Lo mismo se hizo para el segundo experimento, a excepción de que los híbridos se sembraron en campanas de flujo laminar previamente desinfectadas, inoculando los tacos con el filtrado tóxico de *Fusarium spp.*

Las variables que se tomaron en cuenta fueron Longitud de Plúmula y Raíz en cm; Peso Fresco y Seco de Plúmula, como también, Peso Fresco y Seco de Raíz en gr.

Se hizo uso del análisis de línea por probador con dos repeticiones para analizar con más detalle de porque las diferencias significativas del diseño de bloques, para después, poder estimar la Aptitud Combinatoria General (ACG) de las líneas y probadores como también la Aptitud Combinatoria Especifica (ACE) de las combinaciones híbridas. En base a las 6 variables que se tomaron en cuenta, se identificaron que líneas con base a sus efectos favorables de ACG son tolerantes a sequía y a *Fusarium spp.*, se identificó un buen probador con base a sus efectos negativos de ACG para discriminar a las 17 líneas en estudio, de igual manera se detectaron híbridos con favorables efectos de ACE para tolerancia a estas dos condiciones de estrés.

Se encontraron diferencias significativas en el diseño de bloques de igual manera en el análisis de línea por probador en ambos experimentos, donde en el experimento de *Fusarium* presentó más diferencias estadísticas, tanto en el diseño como en el análisis.

Para tolerancia a sequía la mejor línea fue la 15 y para *Fusarium spp.*, fue la 6, donde estas dos sobresalieron en 4 variables. El mejor probador como discriminador de líneas en base a sus efectos negativos de ACG en las respectivas variables evaluadas fue el 2, y la combinación especifica fue el híbrido 31 con buenos efectos de ACE en la variable de LR para tolerancia a sequía y para el filtrado toxico de tal patógeno fueron las cruza 31 y 32 en PSR.

Palabras Clave: *Zea mays* L., sequía, manitol, *Fusarium spp.*, laboratorio, línea por probador, aptitud combinatoria general y específica.

VII. LITERATURA CITADA

- Acosta D. E., C. Trejo L., L. del M. Ruiz P., J. S. Padilla R. y J. A. Acosta G. 2004.** Adaptación del frijol a sequía en la etapa reproductiva. *TERRA Latinoamericana* Vol. 22: 49-58.
- Alfonso C. R. 2006.** Curso de capacitación en Mejoramiento genético en arroz. Mejoramiento para resistencia la sequía en el cultivo del arroz. Instituto de Investigaciones del Arroz (IIArroz). Bauta, La Habana, Cuba. p 14.
- Alexopoulos C. J., Mims C. W. and Blackwell. 1996.** Introductory mycology. 4th Edition. Editorial John Willey y Sons New York. 869 p.
- Antuna G. O., F. Rincón S., E. Gutiérrez del R., N. A. Ruíz T. y L. Bustamante G. 2003.** Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* Vol. 26: 11-17.
- Arias R. J. H., T. Rengifo M. y M. Jaramillo C. 2007.** Manual Técnico. Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la producción de frijol voluble. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Proyecto de la FAO con MANA (Mejoramiento Alimentario y Nutricional de Antioquía). Colombia. ISBN 978-92-5-305827-3. pp: 102-103.
- Ascencio A. A., A. López B., F. Borrego E., S. A. Rodríguez H., A. Flores O. y F. Jiménez D. 2008.** Marchitez Vascular del Tomate: II. Herencia de la Resistencia a la Raza 3 de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopercisi* (Sacc.)

Snyder y Hansen en Tres Especies del Género *Lycopersicon*. Revista Mexicana de Fitopatología Vol. 26: 180-183.

Avendaño A. C. H., J. D. Molina G., C. Trejo L., C. López C. y J. Cadena I. 2008. Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz. Agronomía Mesoamericana Vol. 19: 27-37.

Basurto S. M., A. Núñez B., R. Pérez L. y O. A. Hernández R. 2008. Fisiología del estrés ambiental en plantas. AVENTURAS DEL PENSAMIENTO. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas/Universidad Autónoma de Chihuahua. p 3.

Blanco L. A. y Aguirre M. C. 2002. Proteínas Involucradas en los Mecanismos de Defensa de Plantas. Acta Universitaria Vol. 12: 3-28.

Carrillo F. J. A., T. de J. Montoya R., R. S. García E., J. E. Cruz O., I. Márquez Z. y A. J. Sañudo B. 2003. Razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopercisi* Snyder y Hansen, en tomate (*Lycopersicon esculentum* mill.) en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México. Revista Mexicana de Fitopatología Vol. 21:123-127.

Castañón G., R. Cruz, R. Del Pino, E. Panzo, M. Montiel y L. Filobello. 2000. Selección de líneas de maíz por resistencia a sequía. Agronomía Mesoamericana Vol. 11: 163-169.

Castañón G., D. Jeffers, H. Hidalgo y H. Tosquy. 1998. Prueba de mestizos de maíz en el Estado de Veracruz, México. Agronomía Mesoamericana Vol. 9: 89-96.

- Castañón G., D. Jeffers y H. Hidalgo. 2000.** Aptitud combinatoria de líneas de maíz tropical con diferente capacidad para tolerar el achaparramiento. *Agronomía Mesoamericana* Vol. 11: 77-8.
- Chávez A. J. L. 1995.** Mejoramiento de plantas 2. Métodos específicos de plantas alógamas. Editorial Trillas. México D. F. 139 p.
- CEDAF. 1998.** CENTRO PARA EL DESARROLLO AGROPECUARIO Y FORESTAL, INC. Cultivo de Maíz. Guía Técnica N° 33. Santo Domingo, República Dominicana. p 5.
- Cisneros L. Ma. E., L. E. Mendoza O., G. Mora A., L. Córdova T. y M. Livera M. 2007.** Híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío. III: Calidad de la semilla cosechada de plantas infectadas con *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg. *Agrociencia* Vol. 41: 405-415.
- Cosme G. J. 2009.** Marchitez en melón y sandía, *Fusarium oxysporum* el principal problema radicular de estos cultivos. Departamento de Agricultura de la Universidad de Sonora (USON), México. pp: 10-11.
- Córdoba B. I. 1972.** Reacción de cincuenta líneas de maíz (*Zea mays* L.), al estado plántula, a *Fusarium moniliforme* (Sheld) y *Fusarium graminearum* (Schw). Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Católica de Valparaíso. Chile. 143 p.
- Covarrubias R. A. A. 2008.** Sobrevivir al estrés: cómo responden las plantas a la falta de agua. Instituto de Biotecnología. Universidad Nacional Autónoma de México. p 254.
- Cruz D. M. S., M. M. Gómez V., M. E. Ortiz P., A. M. Entzana T., C. L. Suárez H. y V. Santillán M. 2007.** Situación Actual y Perspectivas del Maíz en

México 1996-2012. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). p 13.

Cubero J. I. 2003. Introducción a la Mejora Genética Vegetal. Ediciones Mundi-Prensa. 2^{da} Edición. España. 561 p.

Davis R. 1927. Report of the plant breeder. Puerto Rico. Agr. Exp. At. Ann. 1927: 14-15.

De Miranda P. C. 2002. El Maíz: Rey de Los Cereales – Desde su descubrimiento hace 8,000 años hasta las plantas transgénicas. SEEDnews. La revista Internacional de las semillas.

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.

Figueroa R. M. G., R. Rodríguez G., B. Z. Guerrero A., M. M. González C., J. L. Pons H., J. F. Jiménez B., J. G. Ramírez P., E. Andrio E. y M. Mendoza E. 2010. Caracterización de Especies de *Fusarium* Asociadas a la pudrición de raíz de maíz en Guanajuato, México. Revista Mexicana de Fitopatología Vol. 28: 124-134.

Flores L. H. E., J. Ireta M. y J. A. Ruíz C. 2007. Factores meteorológicos asociados al tizón de la espiga (*Fusarium graminearum* Schwabe) en trigo (*Triticum aestivum* L.) Revista Mexicana de Fitopatología Vol. 25 102-108.

Gallardo R. E. D., G. M. Ibarra M., R. I. Sánchez M., G. Cuamea C., D. Molina G., N. V. Parra V., E. C. Rosas B. y M. O. Cortez R. 2006. Micobiota de maíz (*Zea mays* L.) recién cosechado y producción de Fumonisina B1

por cepas de *Fusarium verticillioides* (SACC.) Niremb. Revista Mexicana de Fitopatología Vol. 24: 27-34.

García A. G. y R. Martínez F. 2010. Especies de *Fusarium* en granos de maíz recién cosechado y desgranado en el campo en la región de Ciudad Serdán, Puebla. Revista Mexicana de Biodiversidad Vol. 81:15-20.

Gaspar L. y Tejerina W. 2008. Fertilización del Cultivo del Maíz. AgroEstrategias Consultores. Rosario; Santa Fe, Argentina. p 1.

Gilchrist S. L., G. Fuentes D., C. Martínez C., R. M. López A., E. Duveiller, R. P. Singh, M. Henry e I. García A. 2005. Guía práctica para la identificación de algunas enfermedades de trigo y cebada. 2^{da} Edición. México, D. F.: CIMMYT. p 39.

González G. M. E. 2002. Métodos de análisis de laboratorio, evaluación y métodos de campo para la selección de genotipos de maíz utilizados en el Instituto Mexicano del Maíz (I. M. M.). pp: 119-148.

Griffing B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Australian J. Biol. Sci. 9: 463-493.

Guillen de la C. P., E. de la Cruz L., G. Castañón N., R. Osorio O., N. P. Brito M., A. Lozano del R. y U. López N. 2009. Aptitud combinatoria general y específica de germoplasma tropical de maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* Vol. 10: 101-107.

Gutiérrez del R. E., A. Palomo G., A. Espinoza B., E. de la Cruz L. 2002. Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la Comarca Lagunera, México. Revista Fitotecnia Mexicana Vol. 25: 271-277.

- Hernández Y. 2010.** Defensa de las plantas a los fitopatógenos. Universidad Central, Maracay, Venezuela. pp: 1-67.
- Iglesias J., D. Presello, L. Botta G., C. Fauquel y G. Hugo E. 2011.** Formación de híbridos resistentes a *Fusarium verticillioides* en maíz. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino (EEA Pergamino). Buenos Aires, Argentina. 3 p.
- Lafitte H. R. 1993.** Identificación de problemas en la producción de maíz tropical. Guía de campo. México; D. F.: CIMMYT. ISBN: 968-6127-96-8. pp: 20-100.
- Layne G. J. A., J. R. Méndez N. y J. Mayz F. 2008.** Efecto del potencial osmótico y del tamaño de la semilla sobre la germinación y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de laboratorio. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas Vol. 11: 26-34.
- Ledent J. F. 2002.** Manual “Déficit hídrico y crecimiento de las plantas: respuestas al déficit hídrico. Comportamiento morfofisiológico” “Modelado del crecimiento de las plantas”. Laboratoire d'écologie des grandes cultures/Faculté des Sciences Agronomiques/Université Catholique de Louvain. Bélgica. pp: 8-28.
- López M. J. D. y Salazar S. E. 1998.** Comparación de genotipos de maíz bajo condiciones deficientes de humedad en el suelo. *TERRA Latinoamericana* Vol. 16: 331-335.
- Marcos V. O. 2001.** SEQUÍA: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. Investigaciones Geográficas (Esp) Núm. 026: 59-80.

- Márquez S. F., L. Sahagún C. y E. Barrera G. 2009.** Nuevo método de mejoramiento genético para resistencia a sequía en maíz. Revista de Geografía Agrícola Núm. 42: 9-14.
- Medina G. G., J. A. Ruiz C. y A. G. Bravo L. 2006.** SEQUÍA: Vulnerabilidad, impacto y tecnología para afrontarla en el Norte Centro de México. INIFAP. Centro de Investigación Regional Norte-Centro. Campo Experimental Zacatecas. Libro Técnico Núm. 4. 2^{da} Edición. p 39.
- Mendoza M., A. López, S. A. Rodríguez, C. De León y D. Jeffers. 2002.** Separación de los efectos epistáticos, aditivos y dominantes en maíz, México. Agronomía Mesoamericana Vol. 13: 01-06.
- Mendoza E. M., A. López B., A. Oyervides G., G. Martínez Z., C. De León y E. Moreno M. 2003.** Herencia genética y citoplásmica de la resistencia a la pudrición de la mazorca del maíz (*Zea mays* L.) causada por *Fusarium moniliforme* Sheld. Revista Mexicana de Fitopatología Vol. 21: 267-27.
- Mendoza E. M., E. Andrio E., A. López B., R. Rodríguez G., L. Latournerie M. y S. A. Rodríguez H. 2006.** Tasa de infección de la pudrición del tallo en maíz causada por *Fusarium moniliforme*. Agronomía Mesoamericana Vol. 17: 19-24.
- Mendoza E. M., A. Oyervides G. y S. A. Rodríguez. H. 2000.** Efecto de dos probadores en la selección de líneas de maíz tropical. Revista Fitotecnia Mexicana Vol. 23: 79-86.
- Montenegro T. H., F. Rincón S., N. A. Ruiz T., H. de León C. y G. Castañón N. 2002.** Potencial genético y aptitud combinatoria de germoplasma de maíz tropical. Revista Fitotecnia Mexicana Vol. 25: 135-142.

- Montiel G. L., F. González F., B. M. Sánchez G., S. Guzmán R., F. P. Gámez V., J. A. Acosta G., R. Rodríguez G., J. Simpson W., M. Cabral E. y M. Mendoza E. 2005.** Especies de *Fusarium* presentes en raíces de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) con daños de pudrición, en cinco estados del centro de México. *Revista Mexicana de Fitopatología* Vol. 23:1-7.
- Monzón A. y Rodríguez T. J. L. 2001.** Infecciones causadas por el género *Fusarium*. Servicio Micología. Centro Nacional de Microbiología. Instituto de Salud Carlos III, Majadahonda. Madrid, España. p 1.
- Nestares G., E. Frutos y G. Eyhérbide. 1999.** Evaluación de líneas de maíz flint colorado por aptitud combinatoria. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, Brasília Vol. 34: 1399-1406.
- Ochoa F. Y. M., E. Cerna C., J. Landeros F., V. Olalde P., O. Vázquez M., J. M. Fuantos M., F. Ramos G. 2011.** Especies de *Fusarium* asociadas a la pudrición basal del ajo en Aguascalientes. 12º SEMINARIO de Investigación. Unidad de Estudios Avanzados, Ciudad Universitaria. Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA), México.
- Paliwal R. L., G. Granados, H. Renée L., A. D. Violic., J. Pierre M. 2001.** EL MAÍZ EN LOS TROPICOS: Mejoramiento y Producción. Dirección de Producción y Protección Vegetal de la FAO. Depósito de documentos de la FAO. 376 p.
- Pech M. A. M., G. Castañón N., J. M. Tun S., M. Mendoza E., J. O. Mijangos C., A. Pérez G. y L. Latournerie M. 2010.** Efectos heteróticos y aptitud combinatoria en poblaciones de chile dulce (*Capsicum annuum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* Vol. 33: 353-360.

- Pérez A., O. Saucedo, J. Iglesias, H. B. Wencomo, F. Reyes, G. Oquendo e I. Milián. 2010.** Caracterización y potencialidades del grano del sorgo. Pastos y Forrajes Vol. 33: 1-26.
- Pérez B. D., D. Jeffers, D. González de L., M. Khairallah, M. Cortés C., G. Velázquez C., S. Azpíroz R. y G. Srinivasan. 2001.** Cartografía de QTL de la resistencia a la pudrición de la mazorca (*Fusarium moniliforme*) en maíz de Valles Altos, México. Agrociencia Vol. 35: 181-196.
- Ramírez L. 2006.** Mejora de Plantas Alógamas. Genética y Mejora Vegetal. Universidad Pública de Navarra. España. p 11.
- Rangel S. G., E. Castro M., E. Beltrán P., H. Reyes de la C. y E. García P. 2010.** El ácido salicílico y su participación en la resistencia a patógenos en plantas. Revista Biológicas Vol. 12: 90-95.
- Rivera A. J. 2004.** Selección "*In Vitro*" de Maíces Nativos de Diferentes Nichos Ecológicos para Tolerancia a Sequía. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. p 57.
- Ruiz de C. J. A., G. Medina G., I. J. González A., C. Ortiz T., H. E. Flores L., R. Martínez P. y K. F. Byerly M. 1999.** Requerimientos Agroecológicos de Cultivos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). pp: 142-143.
- Ruiz L. L., R. Troncoso R., A. Sánchez E., V. F. Aguilar A, C. Guerrero R. y S. Garza O. 2005.** Tratamiento postcosecha contra *Fusarium roseum* en melón reticulado (*Cucumis melo* L.) Revista Iberoamericana de Tecnología de Postcosecha Vol. 6: 110-116.

SAS Versión 9.00. 2002. Statistical Analysis System. Copyright by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Seghezzo G. 2002. Prácticas de manejo del monte chaqueño (Implantación de especies forrajeras en abras 4B). Fundación para el Desarrollo en Justicia y Paz (FUNDAPAZ). Argentina; Año 3; N°5. p 66.

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

Sierra M. M., F. Márquez S., R. Valdivia B., H. Córdova O., R. Lezama G. y A. Pescador R. 2004. Uso de probadores en la selección de líneas para formar híbridos de maíz (*Zea mays* L.). *Agricultura Técnica en México* Vol. 30: 169-181.

Singh R. and Chaudhary B.1985. Biometrical techniques in genetics and breeding. International Bioscience Publisher Hissar. India. pp: 205-214.

Sobrado M. A. 1991. Aspectos fisiológicos de las respuestas de dos cultivares de maíz tropical al déficit hídrico. *Agronomía Tropical* Vol. 41: 23-42.

Sprague G. F. y Tatum L. A. 1942. General versus specific combining ability in single crosses of corn. *J. Am. Soc. Agron.*, 34: 923-932.

Teruel M. E., C. A. Biasutti, M. C. Nazar y D. A. Peiretti. 2008. Efectos de aptitud combinatoria para vigor de plántula bajo estrés hídrico en maíz. *Agriscientia* Vol. XXV: 27-34.

- Terrón A., E. Preciado, H. Córdova, H. Mickelson y R. López. 1997.** Determinación del patrón heterótico de 30 líneas de maíz derivadas de la población 43SR del CIMMYT. *Agronomía Mesoamericana* Vol. 8: 26-34.
- Velázquez M. A. 2006.** Selección de líneas elite de maíz tolerantes a *Fusarium moniliforme* y sequía. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 96 p.
- Vera D., C. Peña V. y G. Cardona V. 2007.** *Fusarium spp.*, Link 1809. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. Colombia.
- Vergara A. N., S. A. Rodríguez H. y H. S. Córdova O. 2005.** Aptitud combinatoria general y específica de líneas de maíz (*Zea mays*) tropical y subtropical. *Agronomía Mesoamericana* Vol. 16: 137-143.
- Vivek B. S., A. F. KrivaneK, N. Palacios R., S. Twumasi A. y A. O. Diallo. 2008.** Mejoramiento de maíz con calidad de proteína (QPM): Protocolos para generar variedades QPM. México, D. F.: CIMMYT. p 18.
- Wong R. R., E. Gutiérrez del R., A. Palomo G., S. Rodríguez H., H. Córdova O., A. Espinoza B. y J. Lozano G. 2007.** Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la Comarca Lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* Vol. 30: 181-189.
- Zarco P. E., V. A. González H., Ma. C. López P. y Y. Salinas M. 2005.** Marcadores fisiológicos de la tolerancia a sequía en maíz (*Zea mays L.*). *Agrociencia* Vol. 39: 517-528.

PÁGINAS WEB

1.- FAO. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Disponible en <http://www.fao.org> o en el siguiente link:

1.1 <http://mexico.cnn.com/salud/2010/09/29/el-maiz-pilar-de-la-alimentacion-mundial> 26 Enero 2012

2.- FUNDACIÓN ANTAMA. Es una organización sin ánimo de lucro que tiene como finalidad la promoción y realización de todo tipo de actividades que contribuyan a dar a conocer a la sociedad el desarrollo de las nuevas tecnologías aplicadas a la agricultura, el medio ambiente y la alimentación.

Disponible en <http://fundacion-antama.org> o en el siguiente link:

2.1 <http://fundacion-antama.org/cientificos-mexicanos-desarrollan-maiz-resistente-a-la-sequia/> 26 Enero 2012

3.- INEGI. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA.

Disponible en <http://www.inegi.org.mx> o en los siguientes links:

3.1 http://es.wikipedia.org/wiki/Poblaci%C3%B3n_mundial 27 Febrero 2012

3.2 http://es.wikipedia.org/wiki/Demograf%C3%ADa_de_M%C3%A9xico
27Febrero 2012

4.- SAGARPA. SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN.

Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx> o en los siguientes links:

4.1 http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350 29 Febrero 2012

4.2 <http://mexico.cnn.com/nacional/2011/11/09/la-sequia-del-norte-de-mexico-es-la-peor-en-70-anos-advierten-autoridades> 26 Enero 2012

4.3 <http://www.mexicoproduce.mx/multimedia.html> 1 Marzo 2012

4.4 [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=367:
:%20numeros-%20fundamentales-de-un-cultivo- fundamental&catid=6:boletine
s&Itemid=569](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=367:%20numeros-%20fundamentales-de-un-cultivo-fundamental&catid=6:boletines&Itemid=569) 2 Marzo 2012

4.5 [http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/estudios_economicos/
escenariobase/perspectivalp_11-20.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/estudios_economicos/escenariobase/perspectivalp_11-20.pdf) 2 Marzo 2012

5.- Fundación Manuel Mejía. 2008. Módulo de Fisiología de la planta de maíz. Disponible en [http://es.scribd.com/doc/57320368/9-Fisiologia-de-la-Planta-de-
Maiz](http://es.scribd.com/doc/57320368/9-Fisiologia-de-la-Planta-de-Maiz) 28 Febrero 2012

6.- AGRO – SÍNTESIS. Desde 1971, se ha consolidado como la revista líder en el sector agropecuario mexicano, llegando mensualmente a más de 7,000 productores y líderes de opinión del campo mexicano a través de suscripción pagada en México y partes de Centro y Sudamérica.

Disponible en <http://www.agrosintesis.com> o en el siguiente link:

6.1 [http://www.agrosintesis.com/component/content/article/49-front-page/273-
avanzada- tecnologia-para-el-incremento-de-rendimientos-en-el-cultivo-de-maiz](http://www.agrosintesis.com/component/content/article/49-front-page/273-avanzada-tecnologia-para-el-incremento-de-rendimientos-en-el-cultivo-de-maiz)
6 Marzo 2012

VIII. APÉNDICE

Cuadro A1 Formato de hoja de campo donde se registraron los datos de las variables evaluadas de los híbridos sometidos a sequía simulada y a las toxinas de *Fusarium spp.*

Híbrido 1	Repetición 1						Observaciones
	Longitud (cm)		Peso Fresco (gr)		Peso Seco (gr)		
Planta	Plúmula	Raíz	Plúmula	Raíz	Plúmula	Raíz	
1	2	19.5	0.0322	0.0256	0.0053	0.0129	1.- Buena germinación de todas las plántulas 2.- Raíces de buena longitud y ramificadas 3.- Variabilidad regular de crecimiento de plúmulas 4.- Poca infestación de hongos 5.- No germinó 6.- Plántula extraviada
2	15	21.5	0.3247	0.0267	0.0368	0.0174	
3	14.3	19.7	0.3599	0.1095	0.0556	0.0422	
4	14.2	19.6	0.2849	0.0634	0.0247	0.0184	
5	11.5	31	0.2715	0.0713	0.0194	0.0216	
6	15.2	19	0.2558	0.0435	0.0461	0.0180	
7	14.5	24	0.3086	0.0576	0.0310	0.0184	
8	15.5	18	0.2913	0.0451	0.0317	0.0151	
9	10.3	19.3	0.2999	0.1059	0.0263	0.0283	
10	12	18	0.2485	0.0532	0.0232	0.0220	
11	17.7	23.8	0.4288	0.0773	0.0504	0.0372	
12	12	23	0.2602	0.0463	0.0236	0.0246	
13	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	
15	11.5	20.7	0.1875	0.0616	0.0182	0.0227	

Cuadro B2 Agrupamiento estadístico de Tukey (derivado del diseño de bloques completamente al azar) de los 43 híbridos de maíz que pasaron por una presión osmótica de -5 bars por el manitol que simuló estrés hídrico.

LP (cm)			LR (cm)			PFP (gr)		
Híbrido	Media	AT	Híbrido	Media	AT	Híbrido	Media	AT
6	13.81	A	31	24.18	A	15	0.3864	A
29	12.98	A	29	22.74	A	40	0.3849	A
37	12.78	A	32	22.34	A	39	0.3685	A
26	12.70	A	8	22.32	A	6	0.3560	A
4	12.64	A	4	21.67	A	41	0.3443	A
15	12.59	A	37	21.40	A	4	0.3387	A
42	11.78	A	15	21.10	A	37	0.3385	A
8	11.65	A	42	20.98	A	10	0.3379	A
41	11.47	A	40	20.74	A	42	0.3294	A
32	11.24	A	12	20.69	A	32	0.3072	A
1	11.16	A	10	20.50	AB	1	0.3065	A
21	11.04	A	39	20.44	AB	31	0.2994	A
40	10.92	A	24	20.33	AB	12	0.2878	A
10	10.79	A	6	20.26	AB	2	0.2849	A
31	10.51	A	35	20.17	AB	8	0.2843	A
39	10.50	A	41	20.10	AB	21	0.2811	A
33	10.49	A	9	20.03	AB	43	0.2797	A
16	10.46	A	5	19.79	AB	33	0.2755	A
24	10.32	A	17	19.79	AB	29	0.2653	A
43	10.23	A	33	19.64	AB	35	0.2638	A
35	9.28	A	30	19.59	AB	9	0.2618	A
12	9.09	A	13	19.47	AB	24	0.2588	A
27	8.94	A	18	19.41	AB	26	0.2586	A
23	8.69	A	1	19.27	AB	13	0.2518	A
2	8.51	A	23	18.96	AB	27	0.2326	A
17	8.22	A	16	18.93	AB	16	0.2311	A
18	8.22	A	27	18.91	AB	11	0.2279	A
7	8.19	A	7	18.45	AB	17	0.2195	A
5	8.07	A	21	18.35	AB	14	0.2113	A
14	7.79	A	22	18.33	AB	7	0.2086	A
22	7.52	A	26	18.32	AB	5	0.2020	A
28	7.51	A	25	17.91	AB	30	0.1943	A
13	7.40	A	3	17.55	AB	3	0.1842	A
11	7.16	A	38	16.90	AB	34	0.1838	A
38	6.93	A	43	16.63	AB	23	0.1780	A
9	6.76	A	2	16.52	AB	28	0.1764	A
25	6.24	A	34	16.26	AB	25	0.1720	A
3	6.20	A	28	15.74	AB	18	0.1626	A
20	6.12	A	11	15.52	AB	36	0.1555	A
36	6.06	A	14	14.91	AB	38	0.1525	A
30	6.03	A	36	14.26	AB	19	0.1426	A
34	5.84	A	20	13.41	AB	22	0.1277	A
19	5.35	A	19	9.57	B	20	0.1173	A

(AT) Agrupamiento de Tukey donde medias con la misma letra no son significativamente diferentes; (LP) Longitud de Plúmula en cm; (LR) Longitud de Raíz en cm; (PFP) Peso Fresco de Plúmula en gr.

Cuadro B2 Continuación.....

PFR (gr)			PSP (gr)			PSR (gr)		
Híbrido	Media	AT	Híbrido	Media	AT	Híbrido	Media	AT
15	0.1993	A	39	0.0435	A	15	0.0405	A
41	0.1875	A	40	0.0398	A	29	0.0384	AB
39	0.1621	A	37	0.0369	A	13	0.0380	AB
42	0.1594	A	6	0.0361	A	31	0.0379	AB
10	0.1515	A	41	0.0352	A	39	0.0366	AB
9	0.1513	A	4	0.0337	A	33	0.0354	AB
33	0.1484	A	15	0.0335	A	41	0.0352	AB
32	0.1478	A	29	0.0320	A	40	0.0342	AB
13	0.1459	A	10	0.0319	A	35	0.0338	AB
11	0.1393	A	31	0.0315	A	12	0.0322	AB
40	0.1372	A	33	0.0314	A	37	0.0319	AB
35	0.1329	A	21	0.0313	A	9	0.0315	AB
14	0.1323	A	2	0.0306	A	10	0.0309	AB
12	0.1268	A	42	0.0300	A	6	0.0304	AB
31	0.1234	A	1	0.0295	A	3	0.0302	AB
6	0.1165	A	35	0.0287	A	11	0.0295	AB
37	0.1083	A	32	0.0285	A	32	0.0283	AB
3	0.0990	A	43	0.0283	A	42	0.0280	AB
34	0.0990	A	24	0.0274	A	14	0.0265	AB
4	0.0954	A	12	0.0270	A	4	0.0256	AB
1	0.0944	A	9	0.0265	A	21	0.0237	AB
2	0.0908	A	8	0.0262	A	2	0.0235	AB
24	0.0890	A	26	0.0262	A	1	0.0226	AB
29	0.0834	A	3	0.0254	A	8	0.0221	AB
27	0.0769	A	11	0.0253	A	43	0.0214	AB
28	0.0769	A	13	0.0251	A	5	0.0204	AB
8	0.0764	A	27	0.0248	A	27	0.0196	AB
25	0.0760	A	7	0.0242	A	16	0.0192	AB
5	0.0759	A	16	0.0239	A	34	0.0185	AB
30	0.0755	A	18	0.0214	A	30	0.0184	AB
43	0.0703	A	5	0.0207	A	24	0.0183	AB
23	0.0635	A	14	0.0205	A	17	0.0177	AB
21	0.0615	A	38	0.0191	A	7	0.0173	AB
16	0.0611	A	30	0.0189	A	38	0.0164	AB
17	0.0591	A	23	0.0185	A	28	0.0164	AB
26	0.0566	A	34	0.0179	A	25	0.0162	AB
22	0.0538	A	25	0.0176	A	23	0.0161	AB
38	0.0480	A	36	0.0174	A	26	0.0145	AB
36	0.0459	A	17	0.0167	A	22	0.0139	AB
7	0.0432	A	22	0.0162	A	18	0.0121	AB
19	0.0432	A	28	0.0161	A	36	0.0114	AB
20	0.0400	A	19	0.0151	A	20	0.0114	AB
18	0.0258	A	20	0.0142	A	19	0.0069	B

(AT) Agrupamiento de Tukey donde medias con la misma letra no son significativamente diferentes; (PFR) Peso Fresco de Raíz en gr; (PSP) Peso Seco de Plúmula en gr; (PSR) Peso Seco de Raíz en gr.

Cuadro C3 Agrupamiento estadístico de Tukey (derivado del diseño de bloques completamente al azar) de los 43 híbridos de maíz que estuvieron expuestos al filtrado tóxico de *Fusarium spp.*

Híbrido	LP (cm)		Híbrido	LR (cm)		Híbrido	PFP (gr)	
	Media	AT		Media	AT		Media	AT
26	15.50	A	32	24.17	A	12	0.4046	A
6	15.49	A	2	23.16	AB	39	0.4009	A
8	14.81	A	6	22.73	AB	13	0.3976	A
12	14.20	A	37	22.60	AB	40	0.3963	A
40	14.16	A	33	22.54	AB	21	0.3992	AB
24	13.81	A	12	22.22	AB	6	0.3810	AB
22	13.66	A	13	22.20	AB	8	0.3794	AB
18	13.29	A	31	22.18	AB	15	0.3779	AB
16	13.29	A	8	22.07	AB	9	0.3726	AB
42	13.26	A	38	21.95	AB	34	0.3678	AB
13	13.24	A	5	21.69	AB	2	0.3658	AB
21	13.21	A	35	21.57	AB	14	0.3621	AB
28	13.12	A	26	21.24	AB	30	0.3601	AB
34	13.05	A	29	21.18	AB	7	0.3600	AB
29	13.05	A	40	21.10	AB	28	0.3593	AB
37	12.96	A	39	21.06	AB	4	0.3576	AB
15	12.81	A	7	20.99	AB	11	0.3508	AB
23	12.81	A	18	20.98	AB	33	0.3488	AB
3	12.69	A	22	20.97	AB	36	0.3434	AB
27	12.66	A	11	20.84	AB	5	0.3420	AB
35	12.65	A	3	20.74	AB	10	0.3389	AB
7	12.64	A	19	20.65	AB	29	0.3299	AB
2	12.56	A	14	20.46	AB	1	0.3263	AB
4	12.41	A	42	20.41	AB	3	0.3251	AB
39	12.37	A	23	20.35	AB	38	0.3243	AB
33	12.34	A	9	20.34	AB	32	0.3219	AB
19	12.31	A	15	20.29	AB	24	0.3168	AB
1	12.15	A	41	20.27	AB	18	0.3126	AB
38	12.10	A	4	19.92	AB	26	0.3060	AB
5	12.05	A	34	19.79	AB	42	0.3006	AB
41	12.01	A	21	19.74	AB	37	0.2985	AB
14	12.01	A	16	19.68	AB	35	0.2881	AB
30	11.99	A	24	19.65	AB	16	0.2831	AB
31	11.72	A	1	19.51	AB	31	0.2803	AB
32	11.65	A	20	19.50	AB	25	0.2698	AB
10	11.37	A	27	19.40	AB	22	0.2634	AB
36	11.10	A	36	19.34	AB	19	0.2592	AB
9	11.05	A	30	19.02	AB	27	0.2534	AB
25	10.97	A	10	19.01	AB	41	0.2395	AB
20	10.66	A	17	18.82	AB	23	0.2261	AB
11	10.13	A	25	17.67	AB	17	0.2120	AB
17	9.89	A	28	17.55	AB	20	0.2008	AB
43	9.04	A	43	17.03	B	43	0.1638	B

(AT) Agrupamiento de Tukey donde medias con la misma letra no son significativamente diferentes; (LP) Longitud de Plúmula en cm; (LR) Longitud de Raíz en cm; (PFP) Peso Fresco de Plúmula en gr.

Cuadro C3 Continuación.....

PFR (gr)			PSP (gr)			PSR (gr)		
Híbrido	Media	AT	Híbrido	Media	AT	Híbrido	Media	AT
39	0.2417	A	6	0.0457	A	13	0.0476	A
9	0.2210	AB	21	0.0455	A	12	0.0436	AB
32	0.2146	ABC	40	0.0433	A	33	0.0429	AB
13	0.2023	ABCD	38	0.0411	AB	9	0.0413	ABC
31	0.1908	ABCDE	28	0.0400	AB	38	0.0407	ABC
8	0.1839	ABCDE	2	0.0398	AB	14	0.0407	ABC
3	0.1800	ABCDE	24	0.0395	AB	39	0.0406	ABC
36	0.1783	ABCDE	29	0.0384	AB	11	0.0403	ABCD
12	0.1766	ABCDE	12	0.0384	AB	6	0.0402	ABCD
2	0.1765	ABCDE	39	0.0371	AB	32	0.0398	ABCDE
11	0.1754	ABCDE	14	0.0359	AB	2	0.0397	ABCDE
7	0.1728	ABCDE	10	0.0357	AB	31	0.0396	ABCDE
30	0.1715	ABCDE	33	0.0353	AB	3	0.0389	ABCDE
4	0.1631	ABCDE	11	0.0352	AB	29	0.0385	ABCDE
5	0.1624	ABCDE	8	0.0350	AB	8	0.0372	ABCDEF
42	0.1530	ABCDE	34	0.0349	AB	40	0.0371	ABCDEF
35	0.1448	ABCDE	13	0.0346	AB	15	0.0359	ABCDEFG
15	0.1437	ABCDE	15	0.0341	AB	30	0.0356	ABCDEFG
14	0.1431	ABCDE	9	0.0338	AB	21	0.0352	ABCDEFG
6	0.1413	ABCDE	3	0.0334	AB	4	0.0328	ABCDEFG
1	0.1409	ABCDE	30	0.0329	AB	42	0.0322	ABCDEFG
37	0.1363	ABCDE	18	0.0328	AB	28	0.0318	ABCDEFG
41	0.1360	ABCDE	36	0.0327	AB	36	0.0315	ABCDEFG
33	0.1313	ABCDE	4	0.0324	AB	37	0.0313	ABCDEFG
34	0.1288	ABCDE	5	0.0319	AB	10	0.0311	ABCDEFG
40	0.1275	ABCDE	32	0.0317	AB	34	0.0310	ABCDEFG
28	0.1246	ABCDE	1	0.0314	AB	7	0.0310	ABCDEFG
10	0.1165	ABCDE	37	0.0311	AB	5	0.0310	ABCDEFG
16	0.1112	ABCDE	16	0.0304	AB	35	0.0308	ABCDEFG
21	0.1095	ABCDE	25	0.0303	AB	1	0.0291	ABCDEFG
18	0.1053	ABCDE	26	0.0303	AB	41	0.0271	ABCDEFG
38	0.1039	ABCDE	42	0.0291	AB	16	0.0262	ABCDEFG
29	0.0912	BCDE	7	0.0291	AB	24	0.0256	ABCDEFG
25	0.0803	BCDE	31	0.0285	AB	25	0.0240	BCDEFG
17	0.0663	CDE	35	0.0267	AB	18	0.0236	BCDEFG
27	0.0660	CDE	17	0.0267	AB	23	0.0216	BCDEFG
26	0.0649	DE	22	0.0252	AB	17	0.0212	BCDEFG
24	0.0622	DE	27	0.0250	AB	27	0.0200	BCDEFG
23	0.0601	DE	19	0.0248	AB	26	0.0177	DEFG
20	0.0588	DE	23	0.0242	AB	22	0.0171	EFG
43	0.0497	E	41	0.0232	AB	20	0.0156	FG
19	0.0492	E	20	0.0212	AB	19	0.0141	G
22	0.0443	E	43	0.0180	B	43	0.0141	G

(AT) Agrupamiento de Tukey donde medias con la misma letra no son significativamente diferentes; (PFR) Peso Fresco de Raíz en gr; (PSP) Peso Seco de Plúmula en gr; (PSR) Peso Seco de Raíz en gr.