

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



**Exploración de tolerancia a sequía y *Fusarium spp.* bajo condiciones de laboratorio en plántulas de maíz.**

**Por:**

**ANTOLIN LÓPEZ JIMÉNEZ**

**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**

Exploración de tolerancia a sequía y *Fusarium spp.* bajo condiciones de laboratorio en plántulas de maíz.

**Por:**

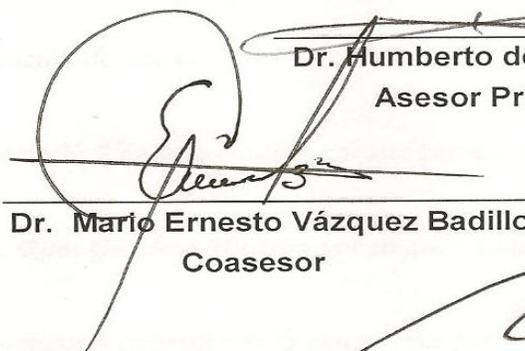
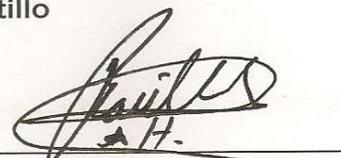
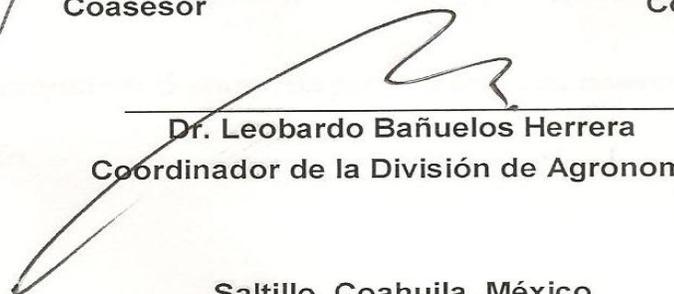
**ANTOLIN LÓPEZ JIMÉNEZ**

**Tesis:**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

**Aprobada**

 _____ Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo Coasesor	 _____ Dr. Humberto de León Castillo Asesor Principal	 _____ Ing. Raúl Gándara Huitrón Coasesor
 _____ Dr. Leobardo Bañuelos Herrera Coordinador de la División de Agronomía		

**Saltillo, Coahuila, México**

**Junio, 2012**

## AGRADECIMIENTO

*A Dios por convertirme en una persona de fe para concluir una etapa más de preparación en la vida.*

*A la UAAAN por la gran oportunidad de prepararme profesionalmente.*

*Al Dr. Humberto De León Castillo por su gran amistad durante mi estancia en la Universidad y darme la oportunidad de realizar el trabajo de tesis. Así mismo por el esfuerzo, tiempo y conocimiento aportado en este trabajo, siempre estaré agradecido con usted.*

*Al M. C. Daniel Sámano Garduño por su valiosa amistad, consejos y su aportación acertada en el trabajo de tesis.*

*A la Q.F.B. Ma. Elena González G. por su gran apoyo durante el trabajo de laboratorio y colaboración de este trabajo.*

*Dr. Mario E. Vázquez Badillo por sus buenos consejos en clase y colaborar en la revisión de tesis.*

*Al Ing. Raúl Gándara Huitrón por su gran amistad y participación en este trabajo.*

*A mis amigos y compañeros de generación por estar ahí en los momentos agradables y difíciles que serán inolvidables.*

## DEDICATORIA

*A mis padres: Baldomero López y Manuela Jiménez por sacrificar todo ofreciéndome lo necesario para culminar una etapa mas de preparación en mi vida.*

*A mis hermanos Gilberto y Noel por estar ahí siempre dándome palabras de aliento, gracias por confiar y creer en mí.*

*A aquellos que participaron directa o indirectamente para culminar una carrera.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

---

	Pág.
Índice de cuadros.....	v
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
Objetivos.....	4
Hipótesis.....	4
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
Generalidades de Tolerancia a Sequía.....	5
Concepto de Sequía.....	5
Efectos fisiológicos en la planta .....	7
Respuesta de la planta al estrés hídrico.....	8
La Resistencia a <i>Fusarium spp.</i> en Maíz.....	10
El Género <i>Fusarium</i> .....	10
Conceptos Básicos.....	15
Hibridación y Heterosis.....	15
Línea.....	16
Probador.....	17
Aptitud combinatoria.....	18
Diseño Genéticos.....	21
Diseño Línea por Probador.....	21
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
Localización del Experimento.....	25
Material Genético.....	25
Prueba Temprana de Tolerancia a Sequía.....	27

Resistencia a <i>Fusarium spp.</i> .....	30
Toma de Datos.....	31
Análisis de Datos.....	31
Análisis Genético.....	32
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>33</b>
Tolerancia Sequía.....	33
Resistencia a <i>Fusarium spp.</i> .....	42
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>VI. RESUMEN.....</b>	<b>51</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>53</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
3.1 Genealogía de líneas.....	26
3.2 Genealogía de probadores.....	26
3.3 Cruzas resultantes de veinte líneas y cuatro probadores.....	27
4.1 Cuadros medios del análisis de varianza de 55 híbridos para el experimento tolerancia a sequía.....	34
4.2 ACG de líneas en las seis variables para el experimento tolerancia a sequía.....	37
4.3 ACG de probadores en las seis variables en tolerancia a sequía.....	39
4.4 ACE de híbridos para las seis variables en el experimento tolerancia a sequía.....	41
4.5 Cuadros medios del análisis de varianza de 55 híbridos para el experimento resistencia a <i>Fusarium</i> .....	43
4.6 ACG de líneas en las seis variables para resistencia a <i>Fusarium</i> .....	45
4.7 ACG de probadores en las seis variables para resistencia a <i>Fusarium</i> ..	47
4.8 ACE de híbridos para las seis variables en el experimento resistencia a <i>Fusarium</i> .....	49

## I. INTRODUCCIÓN

El aumento de la población y el cambio climático están ocasionando la escasez de agua para diversos usos, entre ellos la agricultura. Se estima que alrededor del 70 por ciento del agua dulce empleada en la actualidad tiene como destino los campos agrícolas, y de esa cantidad 80 por ciento se pierde por evaporación, por lo que es de gran importancia mejorar la capacidad de los cultivos para resistir la sequía y que se usen de manera más eficiente el agua de riego (Rodríguez *et al.*, 2010).

La superficie siniestrada por sequía (definida como daño total en la superficie sembrada) en el primer semestre del año agrícola 2009 fue de 1.94 millones de hectáreas, que representa aproximadamente 11% del total de superficie sembrada a nivel nacional, seis veces mayor al año anterior (Salgado *et al.*, 2009).

La tolerancia a la sequía es un carácter complejo, como lo es el potencial de rendimiento. Por esta razón, es necesaria una estrategia de investigación multidimensional para asegurar el continuo mejoramiento de híbridos (Pioneer, 2009).

Además de los factores abióticos como la sequía, intervienen factores bióticos como las plagas y enfermedades que participan para causar bajos rendimientos en los cultivos de maíz y en consecuencia pérdidas económicas para el agricultor. Dentro de las enfermedades más comunes y drásticas son las causadas por hongos, que dañan a la planta desde su germinación, desarrollo vegetativo, madurez fisiológica y durante el almacenamiento del grano.

García *et al.* (2010) identificaron nueve especies del genero *Fusarium* en muestras de maíz blanco en el Estado de Puebla: a) *F. oxysporum*, b) *F. subglutinans*, b) *F. moniliforme*, c) *F. graminearum*, d) *F. anthophilum*, e) *F. poae*, f) *F. tricinctum*, g) *F. sporotrichioides* y h) *F. proliferatum.*, donde la mayoría de ellos son productoras de micotoxinas, que pueden ocasionar problemas a la salud humana y animal. Estos autores mencionan también que en superficies grandes, el daño por este patógeno pueden ser devastadoras.

Figueroa *et al.* (2010) reportan seis especies de *Fusarium* asociadas a las pudriciones del tallo y raíz en maíz en el estado de Guanajuato, nombran a *F. subglutinans* y *F. verticillioides*, las más patogénicas para este cultivo de maíz.

Para la obtención de materiales de maíz con resistencia genética amplia y durable a *Fusarium spp.*, es necesario como primer paso conocer la

diversidad de especies presentes en la región de interés, para la cual se pretende desarrollar este tipo de materiales (Figuroa *et al.*, 2010).

De acuerdo con lo anterior, el fenómeno de sequía y las enfermedades causadas por las especies de *Fusarium* se encuentran dentro de los factores más importantes que afectan los rendimientos del cultivo de maíz. La Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” a través del Instituto Mexicano del Maíz (I.M.M.) “Dr. Mario E. Castro Gil” realiza investigación para la generación y obtención de buenos materiales a través del mejoramiento genético, esto incluye grupos heteróticos, líneas e híbridos. Además de la evaluación en campo se realiza a nivel laboratorio para conocer más la expresión genética de los materiales y así tener éxito en la selección de ellos.

Tomando en cuenta lo anterior, en el presente trabajo se evaluaron en laboratorio 55 híbridos provenientes de cruzamientos de veinte líneas con cuatro probadores, donde las líneas por lo menos están cruzadas con dos probadores, para conocer su comportamiento a una simulación del fenómeno sequía (estrés hídrico) y presencia de *Fusarium spp.* en etapas tempranas. Además de obtener las cruzas con mejor respuesta, se estudiarán los componentes genéticos de los progenitores, teniendo en cuenta lo siguiente.

## Objetivos

- Identificar los híbridos, líneas y probadores con mejor comportamiento en presencia de estrés por sequía y a *Fusarium spp.*
- Estimar la aptitud combinatoria general para líneas y probadores como aptitud combinatoria específica de sus cruzas.

## Hipótesis

- Dentro de los híbridos habrá suficiente variabilidad para la respuesta a sequía y *Fusarium*, que permitirá hacer selección entre híbridos y sus progenitores.
- La aptitud combinatoria estimada para líneas, probadores y líneas por probador reflejarán efectos diferentes de cero en al menos uno de ellos, lo que permitirá la selección.
- Los materiales selectos a tolerancia a sequía pudieran ser los mismos seleccionados para *Fusarium*.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### Generalidades de Tolerancia a Sequía

#### Concepto de Sequía

La definición de sequía ha sido el objeto de numerosos estudios científicos, pero la diversidad de tipologías climáticas existentes sobre el planeta hace casi imposible utilizar el mismo umbral de déficit pluviométrico en dos lugares diferentes. La sequía agrícola, según Bravo *et al.* (2006) es de carácter estacional y se relaciona con la duración del desarrollo fenológico de los cultivos. Valiente (2001) menciona que se produce cuando no hay suficiente humedad en el suelo para permitir el desarrollo de un determinado cultivo y en cualquiera de sus fases de crecimiento.

Desde el punto de vista meteorológico, Hernández *et al.* (1999) definen la sequía como función del déficit de precipitación, expresado en porcentaje respecto a la pluviosidad media anual o estacional de largo periodo y su duración en una determinada región. Por otro lado Velasco *et al.* (2005)

mencionan que es un fenómeno que abarca amplias extensiones espaciales, sin una dirección o trayectoria definida y sin epicentro.

La sequía, en términos genéricos, se define como una deficiencia de agua que depende de dos factores: las variaciones en el descenso del potencial hídrico en el ambiente y de las variaciones en el tiempo o duración de estos descensos (Alfonso, 2006).

En la República Mexicana, la sequía también es conocida como: sequía intraestival, sequía de medio verano, sequía de agosto, sequía relativa, veranito, mínimo secundario y canícula, definiéndose ésta como el receso ó merma temporal registrada en la cantidad de precipitación en la estación lluviosa del año (Taboada *et al.*, 2009). Este mismo autor, asegura que la intensidad de la sequía cada vez es mayor, por lo que es la manifestación del cambio climático.

Las variables que más se emplean para evaluar la sequía, solas o combinadas, son: precipitación, temperatura del aire, humedad del aire, evaporación en superficies libres, evapotranspiración, humedad del suelo, velocidad del viento y escorrentía (Bravo *et al.*, 2006).

La precipitación pluvial y el riego son los factores que pueden aliviar por completo los efectos de sequía sobre los rendimientos de cultivos, sin embargo cuando el agua de riego no está disponible, las únicas soluciones posibles son

recurrir a procedimientos de cultivo que incrementen la disponibilidad del agua almacenada en el suelo, desarrollar variedades o híbridos que puedan evitar o tolerar con mayor eficiencia los periodos de sequía (Christiansen *et al.*, 1991).

González *et al.* (2005) establecieron que en la agricultura de temporal, el principal problema ecológico lo constituyen las variaciones en la cantidad y distribución de las lluvias, lo que da lugar a períodos de sequía que afectan la producción de los cultivos y su sostenibilidad. Mientras que Cantú (2008) expone que el principal problema que enfrenta el cultivo del maíz en el noreste de México es la sequía, incluso en las áreas de riego, donde la errática precipitación ha ocasionado escasa captación de agua por las presas en los últimos ocho años.

### **Efectos fisiológicos en la planta**

La deficiencia de agua en la planta causa un estado patológico en general. Baja la fotosíntesis al cerrarse los estomas y por ausencia de CO<sub>2</sub>; también disminuye por disfunción de los cloroplastos que se desintegran causando clorosis; la respiración asciende temporalmente y luego se deprime; las enzimas se desnaturalizan, fallan las nitrato reductosas y luego cesa la síntesis de proteínas; el contenido de ácido abscísico se eleva y el de citocininas baja; la falta de turgencia hace cesar el crecimiento; la precocidad aumenta (Rojas, 2003). El déficit de agua afecta rápidamente los procesos que van desde la fotosíntesis hasta la respiración (Basurto *et al.*, 2008). Así mismo, el

estrés por déficit hídrico o por sequía se produce en las plantas en respuesta a un ambiente escaso en agua, en donde la tasa de transpiración excede a la toma de agua (Moreno, 2009).

Avendaño *et al.* (2008) en un estudio de respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz, encuentran que en variedades mejoradas, la sequía retrasó la floración masculina y femenina, además presentaron mayor asincronía floral.

### **Respuesta de la planta al estrés hídrico**

Bajo exposición a algún tipo de estrés, las plantas exhiben un amplio rango de mecanismos adaptativos moleculares y bioquímicos, estos comprenden cambios en la morfología y desarrollo, tales como la inhibición del crecimiento de la raíz. (Iturriaga, 2010). La falta de agua o déficit hídrico sería la tensión o estrés que actuaría sobre las plantas, y toda tensión produce dos tipos de respuesta en los organismos: respuestas que tienden a evitar o prevenir la tensión (mecanismos evitadores) y mecanismos o adaptaciones que permiten soportar o resistir el estrés (mecanismos tolerantes) (Valladares *et al.*, 2004).

Moreno (2009) señala respuestas como: modificaciones en el crecimiento, desarrollo del metabolismo C4 y CAM, cierre de estomas y cambios en la expresión de genes, incluyendo los que codifican proteínas

potencialmente protectoras, enzimas clave en la vía de síntesis de osmolitos, enzimas antioxidantes y factores de transcripción, que regulan la expresión de genes inducida por el estrés.

Algunos cultivares acumulan azúcares solubles o sales para aumentar el potencial osmótico; hay variedades muy precoces, o que son capaces de suspender su crecimiento entrando en semiletargo (Rojas, 2003).

Una respuesta común de los organismos al estrés por sequía, es la acumulación de azúcares y solutos compatibles que sirven como osmoprotectores (Gámez *et al.*, 2004), esto debido a una pérdida de agua que a su vez hace caer el potencial hídrico de la planta (Coego *et al.*, 2006).

Los daños que causa el estrés por sequía en maíz son más severos, si éstos ocurren durante la época de floración de las plantas, estos consisten en menor formación de semilla y más mazorcas sin granos. El estrés por sequía reduce el alargamiento de los estigmas, de modo que la expulsión de éstos podía no sincronizarse con la liberación del polen (Poehlman *et al.*, 2005).

Zarco *et al.* (2005) reportan que en maíz, la sequía causa decremento en número y tamaño de granos por mazorca, esterilidad, en donde las líneas no producen granos, retraso en la exposición de los estigmas con respecto a la liberación de polen, menor turgencia en jilotes y reducción de la tasa fotosintética.

La resistencia a la sequía, siendo un carácter tan complejo, puede estar determinado genéticamente por uno o varias genes; lo más seguro es que se trate de un carácter poligénico, si bien pueden existir genes mayores en el genomio de la planta (Márquez, 1991). Afortunadamente, la resistencia a la sequía es un rasgo hereditario (Jugenheimer, 1981).

### **La Resistencia a *Fusarium spp.* en Maíz.**

#### **El Genero *Fusarium***

**Clasificación científica.** Reino: Fungi, División: Eumycota, Subdivisión: deuteromycotina, Clase: hyphomycetes, Orden: hyphales, Genero: *Fusarium*.

El *Fusarium* se encuentra entre los géneros que producen marchitamientos vasculares, enfermedades que se encuentran ampliamente distribuidas y son muy destructivas, espectaculares y alarmantes, ya que se manifiestan en un marchitamiento más o menos rápido. En pocas semanas, el patógeno puede ocasionar la muerte de plantas completas o de sus órganos que se localizan por arriba del punto de invasión vascular. Las hojas o partes infectadas pierden su turgencia, se debilitan, adquieren una tonalidad de verde claro al amarillo verdoso, decaen y finalmente se marchitan (Agrios, 2008).

Este mismo autor asegura que *Fusarium* es un hongo que habita en el suelo, infectan a las plantas directamente o a través de heridas causadas por nematodos. Tan pronto llega el hongo a las raíces se extiende a los vasos xilemáticos, donde forman microconidios y subsecuentemente el micelio y las esporas del hongo. Los marchitamientos vasculares están entre las enfermedades de las plantas más difíciles de controlar. El método más efectivo para controlar los marchitamientos por *Fusarium* ha sido el uso de variedades resistentes. El hongo permanece en el suelo en residuos de la cosecha anterior; éste inoculo invade plantas hospederas donde permanece completando su ciclo de vida (Martínez *et al.*, 2005).

El *Fusarium* es capaz de sobrevivir de un ciclo de cultivo al siguiente en el rastrojo de maíz, en el suelo o en la semilla, ya sea en forma miceliar o formando estructuras reproductivas o de resistencia. Ocasionan la infección en el sistema radicular y su podredumbre en forma temprana y luego colonizan el tallo. Los síntomas iniciales ocurren unas pocas semanas luego de la polinización, con la prematura senescencia de las hojas superiores y luego progresa por toda la planta. Durante este periodo se produce la traslocación de los carbohidratos desde el tallo hacia los granos y esto ocasiona que el tallo se vuelva más susceptible a la colonización del hongo. Luego de la podredumbre de las raíces, los tallos comienzan a perder firmeza hasta desencadenar una desintegración de tejidos (podredumbre), por lo que si se retrasa la cosecha o se produce una tormenta con vientos fuertes se produce el quiebre y vuelco de las plantas (Souza, 2008).

Estos hongos son comunes en la naturaleza y están frecuentemente presentes, ocasionando la podredumbre de espigas, de granos y también podredumbres de tallos y raíces en maíz (Mego *et al.*, 2005).

Generalmente las plantas infectadas por *Fusarium* presentan síntomas como una decoloración café en la base del tallo, con una descomposición del parénquima y haces vasculares sueltos, causando marchitamiento prematuro de la planta poco tiempo después de la floración (Rodríguez *et al.*, 2008).

*Fusarium graminearum* avanza desde el ápice de la espiga hacia la base con tonos rosados y puntuaciones negras; *F. verticillioides* produce podredumbres parciales de la espiga afectando granos aislados que presentan características estrías blancas (Souza, 2008).

La pudrición de mazorcas por *Fusarium sp* se caracteriza por presentar pequeñas estrías en el pericarpio, también sobre y entre los granos crece un moho algodonoso de color rosa o blanco (Arrieta *et al.*, 2007). *Fusarium graminearum* desarrollan un color rosado a rojizo, con infección de la punta de la mazorca y continua hacia abajo, *F. verticillioides* desarrolla una pudrición de unos cuantos granos aislados, micelio blanco o ligeramente rosado, los granos afectados presentan un rayado, debido a la presencia del micelio bajo el pericarpio (Rodríguez *et al.*, 2008).

El género *Fusarium* causa pudrición de tallo y grano en maíz, este hongo aparece primero como una coloración salmón pálido en el pedicelo o casquete de la punta de los granos, eventualmente se muestra un crecimiento de moho polvoso rosáceo, compuesto por grandes número de esporas y conidias. El hongo penetra cerca de la corona de la planta o a través de los nudos. Las plantas infectadas se vuelven cafés y los tejidos se reblandecen en la parte inferior del tallo. *F. moniliforme*, es capaz de colonizar maíz durante todo el ciclo vegetativo y cualquier parte de la planta (Mendoza *et al.*, 2006). Sobrevive en el pedicelo, endospermo o embrión de la semilla, afectando el desarrollo después de la germinación (Levin *et al.*, 2003).

Mego *et al.* (2005) y Figueroa *et al.* (2010) consideran que *F. verticillioides* es la de mayor capacidad patogénica y toxicogénica por su potencial para producir fumonisinas, desde el punto de vista fitopatológico en el cultivo de maíz. Según Fauguel *et al.* (2008), es uno de los hongos de mayor prevalencia asociado al cultivo de maíz. Su presencia causa deterioro del grano y contaminación con micotoxinas, especialmente las fumonisinas, de comprobado efecto tóxico en animales y potencial cancerígeno en humanos. Presello *et al.* (2008) asegura que esta especie puede presentar infecciones asintomáticas.

Las fumonisinas, producidas por *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Niremb. (syn. *F. moniliforme*) y *F. proliferatum*, han sido relacionadas con algunas enfermedades específicas (leucoencefalomalacia equina, síndrome de edema

pulmonar en porcinos y cáncer de esófago en humanos). Los niveles máximos de fumonisinas permitidos son 5 ng/g para equinos, 10 ng/g en alimentos para cerdos, 50 ng/g en alimentos para bovinos y 1 ng/g para consumo humano (Chavarri *et al.*, 2009).

Las plantas poseen un complejo mecanismo de respuesta, el cual puede conducir a la bienvenida o al rechazo del microorganismo (Ferrera *et al.*, 2007).

La habilidad de una planta para permanecer relativamente sin afectar por una enfermedad debido a las propiedades inherentes que posee, se denomina resistencia. Tolerancia como la habilidad de soportar la invasión de un patógeno y manifestar sólo síntomas o daños moderados (Jugenheimer, 1981). Éste mismo autor, menciona que los híbridos son resistentes en proporción al número y grado de resistencia de las líneas resistentes de su pedigree.

El mejor método de control de *Fusarium* es el uso de híbridos resistentes (Chavarri *et al.*, 2009; Mendoza *et al.*, 2006) con buen diámetro de tallo, densidad óptima de siembra, sin excesos de nitrógeno, control de insectos barrenadores y malezas y cosechar a tiempo (Souza, 2008).

El desarrollo de variedades resistentes es una estrategia de control económica y ambientalmente deseable para esta enfermedad (Fauguel *et al.*, 2008). Resulta prioritario incluir en todos los programas de mejoramiento del maíz actividades tendientes a incorporar resistencia a mohos y/o a sus

micotoxinas, fundamentalmente a *A. flavus* y a las aflatoxinas, así como a *F. verticillioides* y a las fumonisinas (Mazzani *et al.*, 2006).

La importancia creciente de la problemática ha hecho que los programas de mejoramiento de los sectores públicos y privados intensifiquen sus actividades en el desarrollo de resistencia a estas especies de *Fusarium* (Presello *et al.*, 2008).

## **Conceptos Básicos**

### **Hibridación y Heterosis**

Reyes (1985) define que hibridación es la producción de animales o vegetales, apareando individuos de distinta especie o género. Mientras que Márquez (1988) menciona que la hibridación como un método genotécnico en las plantas; el aprovechamiento de la generación  $F_1$  proveniente del cruzamiento entre dos poblaciones  $P_1$  y  $P_2$  (poblaciones paternas). Las poblaciones pueden ser líneas endogámicas, variedades de polinización libre, variedades sintéticas o también las poblaciones  $F_1$  mismas.

Es un método de mejoramiento genético que utiliza la polinización cruzada entre progenitores genéticamente distintos con el propósito de obtener recombinación génica (Poehlman *et al.*, 2005). Los mismos autores, mencionan que la heterosis es sinónimo de vigor híbrido y la define como el incremento en

tamaño, vigor o productividad de una planta híbrida sobre el promedio o media de sus progenitores. Cuando un híbrido es superior a los progenitores se dice que manifiesta heterosis (Robles, 1986).

Sámano (2007) menciona que la heterosis en maíz aumenta con el incremento en la divergencia genética de las poblaciones progenitoras, a través de una amplia gama de diversidad. Pero esta divergencia debe estar dentro de ciertos límites, de lo contrario la expresión heterótica puede ser anulada por combinaciones discordantes en los híbridos  $F_1$ .

### **Línea**

Márquez (1988) define línea endogámica como el conjunto de individuos resultante en una generación dada, de un sistema regular de apareamiento endogámico. Líneas autofecundadas como la población en una generación, obtenida al cabo de la autofecundación de una sola planta en cada generación. Línea pura como la progeie de un individuo en el momento en que éste se considera homocigoto.

Las líneas endocriadas son relativamente homocigotas, materiales puros para reproducción desarrolladas por endocria controlada y selección. Pueden desarrollarse a partir de variedades de polinización libre, híbridos, sintéticos y compuestos (Jugenheimer, 1981).

Poehlman *et al.* (2005) mencionan que línea endogámica es una línea de mejoramiento homocigótica, que se obtiene y mantiene mediante autopolinización, y línea pura a la progenie que desciende únicamente por autopolinización de una sola planta homocigótica.

Las líneas puras o líneas homocigóticas se obtienen a partir de los heterocigotes. Es importante que las líneas sean puras para obtener híbridos homogéneos como ellas, que aprovechen al máximo la heterosis (Pérez *et al.*, 1997).

López (2009) menciona que la evaluación y selección de líneas es la etapa más importante en un programa de mejoramiento de plantas, donde se ha tratado de implementar métodos simples e indirectos como la estimación de aptitud combinatoria que permiten detectar los genotipos más sobresalientes.

### **Probador**

Para conocer el comportamiento de una línea endogámica es necesario cruzarlas con uno o más individuos diferentes, así podemos asegurar que línea está constituida por genes que expresan características favorables para el fitomejorador, estos individuos son llamados probadores y diferentes autores tienen su definición.

Se usa un probador de base genética amplia (heterogénea) para determinar la aptitud combinatoria general (ACG). Si el probador es una línea homocigótica, la aptitud que estaríamos determinando en las líneas sería su aptitud combinatoria específica (ACE) de cada uno de ellos con aquella (Márquez, 1988). El tipo de probador que se debe usar para la evaluación de líneas puras en combinación híbrida dependerá del tipo de información que se requiera obtener ACG o ACE (Jugenheimer, 1981).

La prueba en la que se compara el comportamiento de la progenie de plantas o familias (genotipos) polinizadas con una línea probadora conocida se conoce como cruzamiento de prueba y evalúa la aptitud combinatoria de las plantas o familias madre con la línea probadora en común (Poehlman *et al.*, 2005).

Hernández (2010) confirma que el uso de probadores representa una alternativa para la selección de líneas para formar híbridos de maíz.

### **Aptitud combinatoria**

Márquez (1988) define la aptitud combinatoria como la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, dicha capacidad medida por medio de su progenie. Donde ésta no debe calcularse para un solo individuo de la población, si no en varios, a fin de poder realizar selección de aquéllos que exhiban las mas alta.

Sprague y Tatum (1942) emplearon por primera vez los términos aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) y la ACG la definen como el comportamiento de una línea en combinaciones híbridas y la ACE como los casos en los cuales, ciertas combinaciones lo hacen mejor (o peor) de lo que podía esperarse en base al comportamiento promedio de las líneas envueltas (Márquez, 1988).

La prueba de ACG es un medio de hacer una selección preliminar de un alto número de líneas, ya que determina en cierta forma el comportamiento promedio de las líneas  $S_1$ , puesto que en ésta etapa de autofecundación todavía existe bastante heterogeneidad genética dentro de cada una de ellas (Robles, 1986).

Jugenheimer (1981) menciona que la aptitud combinatoria general proporciona información sobre que líneas se combinarán bien con otras líneas y aptitud combinatoria específica como el desempeño individual de una línea pura en una combinación híbrida específica. Para tener éxito en la obtención de híbridos es esencial tener un amplio conocimiento de la aptitud combinatoria de las fuentes de germoplasma con que se esté trabajando en un programa de mejoramiento (Antuna *et al.*, 2003; De la Rosa *et al.*, 2006).

Se conoce como aptitud combinatoria a la capacidad que tiene una línea endogámica para transmitir características deseables a la progenie híbrida.

Aptitud combinatoria general de una línea endogámica es la contribución promedio que hace ésta al rendimiento del híbrido en una serie de combinaciones de este último, en comparación con la contribución que otras líneas endogámicas hacen al rendimiento del híbrido en la misma serie de combinaciones. La aptitud combinatoria específica es la contribución que una línea endogámica hace al rendimiento del híbrido en un cruzamiento con una línea endogámica específica, en relación con las contribuciones que hace en cruzamientos con una serie de líneas endogámicas específicas (Poehlman *et al.*, 2005).

Roblero (2003) en un experimento estimó aptitud combinatoria para seleccionar líneas, identificar y clasificar híbridos: cruzó 27 líneas derivadas de una población denominada “exótica”, constituida de la recombinación de híbridos de diferentes empresas con dos probadores; probador 1 híbrido simple de porte enano, grano dentado y con adaptación al Bajío mexicano, probador 2 una línea proveniente de CIMMYT de porte normal, grano cristalino y con adaptación al subtrópico. Encontró tres híbridos (cruza simple, triple y doble) y cuatro líneas con atributos sobresalientes, además determinó un probador de cruza simple como el mejor por tener amplio rango de clasificación y por identificar un mayor número de buenas líneas.

Peña (2006) en un estudio estimó la aptitud combinatoria de 31 líneas para generar híbridos con adaptación a altitudes de 1500 a 2000 msnm pertenecientes a cuatro diferentes grupos germoplásmicos, utilizando cuatro

probadores de reducida base genética que fueron cruza simples; Probador 1 y 2 precoces y de alta calidad proteínica de Valles Altos, probador 3 precoz y tolerante a sequía y probador 4 intermedio para las zonas del Bajío, todos con grano de color blanco. Identificó nueve líneas con buena ACG y cruza de prueba precoces, además concluyó que el uso de cruza simples como probadores permitió seleccionar nuevos híbridos triples para su inmediato uso comercial.

## **Diseños Genéticos**

### **Diseño Línea por Probador**

Sámano (2007) comparó los diseños dialélicos propuestos por Griffing (1956) y de línea por probador descrito por Singh y Chaudhary (1985), donde reporta que regularmente los dialélicos son utilizados para medir los efectos dentro de una población, mientras que el de línea x probador se utiliza cuando se incluye además de la población base, otro material divergente (probador) estimando los efectos y la variabilidad dentro de cada una y la diversidad genética existente entre ellos.

Singh y Chaudhary (1985) describieron el diseño de apareamiento línea por probador y mencionaron que el diseño permite plantear las estrategias de selección y que maximicen el avance genético para la producción de caracteres deseables en base a su aptitud combinatoria y heterosis de la población.

López (2009) menciona en su estudio que la ACG y ACE de los materiales ayuda a estimar varios tipos de efectos de genes. El plan de cruzamientos de este diseño línea por probador es considerando “l” líneas y “p” probadores y así “l x p” son todas las progenies producidas.

Numerosos ensayos enfocados al mejoramiento genético de maíz hacen uso del diseño línea por probador; Vergara *et al.*, (1998) estimaron aptitud combinatoria de doce líneas con tipo de mazorca larga y doce probadores con tipo de mazorca gruesa y el comportamiento de las cruzas. Vergara *et al.*, (2005) obtuvieron aptitud combinatoria general y específica para veinte líneas tropical y subtropical provenientes de Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), cruzadas con seis probadores de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Mientras que Terrón *et al.* (1997) determinaron el patrón heterótico de treinta líneas derivadas de la población 43SR del CIMMYT cruzadas con dos probadores CML30 y CML31 pertenecientes a grupos heteróticos diferentes, lograron integrar siete líneas a los grupos heteróticos.

Elizarrarás (2006) evaluó 151 híbridos triples formado por el cruzamiento entre dos grupos germoplásmicos que forman un buen patrón heterótico para el Bajío mexicano; un grupo constituido por plantas enanas de la UAAAN y el otro por maíz de alta calidad proteínica (QPM) del CIMMYT, los análisis de datos se realizó a través de la metodología línea por probador en el programa SAS.

Identificó tres líneas del grupo QPM y una del grupo enano con buen comportamiento genético, seleccionó tres probadores del grupo QPM y cuatro para el grupo enano con mayores efectos de ACG y cuatro híbridos con características agronómicas y buen rendimiento.

Musito (2007) evaluó 245 híbridos triples en dos localidades, formados por el cruzamiento entre grupo Ideotipo con los grupos Elite y Tropical. Al detectar diferencias estadísticas en el análisis general combinado. Siguió la estrategia de línea por probador, con el programa SAS estimaron aptitud combinatoria de las líneas, de los probadores y la cruce entre ellos. Seleccionando 4 híbridos con buen rendimiento, atributos agronómicos buenos e identificó siete líneas y cinco probadores por tener alto valor de ACG.

Por otro lado, Leyva (2007) evaluó 176 híbridos triples en dos localidades, cuyo fondo genético provenía de cinco grupos germoplásmicos; Grupo Enano, Ideotipo, Exótico, Tropical y Grupo QPM, estos cruzados con 14 probadores de cruce simple. Utilizó el diseño línea por probador para estimar aptitud combinatoria. Encontrando uno con buen desempeño agronómico, alto valor de ACG y ACE de sus progenitores, superando al testigo y con una dosis de participación de progenitores, 25% ideotipo, 25 % exótico y 50% del germoplasma tropical.

Zavala (2011) en su investigación estimó aptitud combinatoria de 47 líneas y ocho probadores para cuatro variables de interés agronómico;

rendimiento, altura de mazorca, floración femenina, sincronía floral. Utilizando el modelo de línea por probador incluyendo tres ambientes, sus resultados indican 13 líneas y 4 probadores con los mejores valores de ACG, seleccionando seis híbridos experimentales que fueron superiores a los testigos.

Hernández (2010) estimó aptitud combinatoria de 20 líneas con tres probadores (cruza simple), generando 60 híbridos triples a través del diseño línea por probador para tres ambientes y 11 variables agronómicas, sus resultados señalan a ocho híbridos sobresalientes, tres líneas y dos probadores de mejor ACG.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **Localización del Experimento**

La presente investigación se realizó en el laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales “in vitro” perteneciente al Instituto Mexicano del Maíz, Dr. Mario E. Castro Gil de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”.

#### **Material Genético**

Se utilizó germoplasma del Instituto Mexicano del Maíz, los genotipos utilizados consistieron en cincuenta y cinco cruza (Cuadro 3.3) de las cuales 15 son simples y 40 son triples, provenientes del cruzamiento de veinte líneas endogámicas (Cuadro 3.1) con cuatro probadores de los cuales tres son cruza simple y una línea (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.1 Genealogía de líneas

No.	LINEAS	GENEALOGÍA
1	0106	((M1xE-197) x E-197-6)-6
2	0109	((M1xE-197) x E-197-6)-9
3	0123	((M4xV524-4119HC-43-3-2-4)xV524-4119HC-43-3-2-4-1)-3
4	0205	((M4xV524-4119HC-43-3-2-4)xV524-4119HC-43-3-2-4-1)-10
5	0206	((M4xV524-4119HC-43-3-2-4)xV524-4119HC-43-3-2-4-1)-11
6	0216	((M4xE-197) x E-197-6)-10
7	0511	((M7xV524-4119HC-218-3xV524-4119HC-218-3-2)-7
8	0514	((M7xV524-4119HC-218-3xV524-4119HC-218-3-2)-10
9	0519	((M7xV524-4119HC-218-3xV524-4119HC-218-3-2)-15
10	0606	((M7xV524) x M7)-7
11	0609	((M7xV524) x M7)-10
12	0611	((M7xV524) x M7)-12
13	0616	((M7xV524) x M7)-17
14	0621	((M7xE-197) x E-197-6)-2
15	0709	((M7xE-197) x E-197-6)-15
16	0715	((M7xE-197) x M7)-1
17	0801	((M7xE-197) x M7)-12
18	0811	((M9xE-197) x E-197-6)-2
19	0113	((M1xE-197) x E-197-6)-13
20	0904	((M9xE-197) x E-197-6)-20

Cuadro 3.2 Genealogía de probadores

No.	PROBADOR	GENEALOGÍA
1	4907	MLS4-1 X PE-115-3
2	4908	LINEA C
3	4910	LBCPC4S4 X PE-115-3
4	4911	351-296-1-6 X (PEEC1)-35-3

Cuadro 3.3 Cruzas resultantes de veinte líneas y cuatro probadores

No.	LINEA	PROBADOR				
		4907	4908	4910	4911	
1	0106	1		31	47	3
2	0109	2		32		2
3	0123	3	17	33	48	4
4	0205	4	18	34		3
5	0206	5	19	35		3
6	0216	6	20	36	49	4
7	0511	7	21	37	50	4
8	0514	8		38	51	3
9	0519	9	22		52	4
10	0606		23	39		2
11	0609		24	40		1
12	0611	10	25		53	3
13	0616			41	54	2
14	0621	11	26	42		3
15	0709	12		43		2
16	0715	13	27		55	3
17	0801	14	28	44		3
18	0811	15	29			3
19	0113		16	45		2
20	0904		30	46		2
						55

### Prueba Temprana de Tolerancia a Sequía

El Instituto Mexicano del Maíz (I.M.M.) ha desarrollado la técnica Siembra en Taco (papel germinador) y Secuestradores de Humedad (manitol -5 bar), descrita por González, (2002) como se expone a continuación.

Con el uso de manitol reactivo de alto peso molecular, que actúa secuestrando agua y simula condiciones de estrés hídrico y mediante el uso de semilla completa de maíz se evaluaron en laboratorio 55 genotipos en base a su tolerancia a sequía.

La solución de manitol que se utilizó fue a una concentración de -5 bar, se prepara mediante la ecuación de Van T 'Hoff como se describe a continuación.

$$\pi = (RT/V)Ns$$

Donde:  $\pi$  = presión osmótica en bares, R = Constante de los gases 0.82, T = Temperatura 273 + °C = °K, V = Volumen (1 lto), Ns = Número de moles

Cálculos para  $\pi$  – 5 bares

$$Ns = (5 \times 1)/0.82 \times 298 = 5/24.43 = .2046663 \text{ mols}$$

$$1 \text{ mol} \quad \text{-----} \quad 182.17 \text{ g/lit (peso molecular manitol)}$$

$$0.2046663 \text{ -----} \quad X$$

$$X = 37.28405 \text{ gramos de manitol/litro de agua.}$$

1. Material y reactivos: Papel germinador o secante, cinta adhesiva (masking tape), semilla de maíz, lápiz tinta y bolsas de polietileno
2. Equipo: balanza analítica, incubadora, destilador
3. Procedimiento

**Preparación de papel germinativo.** La hoja de papel se dividió en tres partes horizontalmente, en la parte inferior de la primera tercera parte se coloca una tira de cinta adhesiva doble cara para sujetar la semilla.

**Esterilización de semilla.** Se toman 15 semillas al azar y se pesan con la balanza analítica, se esterilizan con cloruro de sodio al cinco por ciento durante cinco minutos y se enjuagan con agua destilada.

**Siembra.** Se colocan las 15 semillas secas y esterilizadas sobre la cinta adhesiva bien distribuidas con los embriones hacia el lado inferior de la hoja, sumergiéndola a saturación en la solución de manitol a una concentración de – 5 bar, se enrolla en forma de taco. Posteriormente cada taco es identificado y colocado en bolsas de polietileno en la cámara de germinación con luz y temperatura de 25 a 28 °C.

**Riegos.** Se realiza cada 72 horas sumergiendo el taco sembrado a saturación en agua destilada, el último riego se realiza en forma de aspersion para evitar el daño mecánico de las plántulas.

**Toma de datos.** Las variables a tomar se realizan después de diez días de la siembra.

**Variables.** Peso de quince semillas (Ps), Longitud de coleoptilo (Lc), Peso fresco de coleoptilo (Pfc), Peso seco de coleoptilo (Psc), Longitud de raíz (Lr), Peso fresco de raíz (Pfr), Peso seco de raíz (Psr).

## **Resistencia a Fusarium spp**

La técnica del I.M.M. Selección de genotipos resistentes a enfermedades fungosas, es mediante la utilización de papel germinativo, filtrado tóxico al 25% y semilla de maíz, el procedimiento siguiente lo describe González (2002).

1. Recolección en campo de material enfermo
2. Preparación de medio para aislamiento de patógeno
3. Aislamiento del hongo en laboratorio.
4. Siembra de material enfermo.
5. Conservación del patógeno
6. Preparación de medio para obtención de filtrado toxico PDS (papa-dextrosa-sacarosa).
7. Inoculación de medio PDS (papa-dextrosa)
8. Agitación de PDS inoculado

## **Siembra de Genotipos**

Para la evaluación de genotipos con resistencia a Fusarium spp., la siembra se realizó utilizando papel secante, filtrado tóxico y semilla de maíz. Para éste ensayo, el procedimiento (preparación del papel germinativo, esterilización de semilla, siembra, riegos y variables tomadas) es de igual manera como se realizó en la evaluación de tolerancia a sequía, sólo que en lugar de manitol se utilizó filtrado tóxico de Fusarium al 25%(250 ml de filtrado tóxico más 750 ml de agua).

## Toma de datos

**Longitud de plúmula (Lp):** característica expresada en centímetros, se tomó en cuenta el tallo y hojas de plántula a partir del cuello de la raíz hasta el último extremo de la plántula.

**Peso fresco de plúmula (Pfp):** característica expresada en gramos, se consideró como la materia fresca del tallo y las hojas de la plántula.

**Peso seco de plúmula (Psp):** característica expresada en gramos, se consideró la materia seca acumulada por el tallo y las hojas de la plántula.

**Longitud de raíz (Lr):** característica expresada en centímetros se obtuvo midiendo la raíz más prominente que se origina del embrión.

**Peso fresco de raíz (Pfr):** característica expresada en gramos, se consideró como la materia fresca de la raíz seminal y las raíces primarias.

**Peso seco de raíz (Psr):** característica expresada en gramos, se consideró como la materia seca acumulada por la raíz seminal y las raíces primarias.

## Análisis de datos

Para el análisis de las variables evaluadas se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones, los cuales se sometieron al modelo lineal.

$$Y_{ij} = \mu + t_i + B_j + \xi_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = observación del  $i$ -ésimo tratamiento de la  $j$ -ésima repetición,  $\mu$  = Efecto de la media general,  $t_i$  = Efecto del tratamiento,  $B_j$  = Efecto del bloque,  $\xi_{ij}$  = Efecto del error experimental

Para el cálculo del coeficiente de variación se empleó la fórmula siguiente:

$CV (\%) = (\sqrt{CMEE/X}) \times 100$  Donde: CMEE= cuadrado medio del error experimental; X= media general de tratamientos.

### **Análisis Genético**

Para la estimación de los efectos genéticos de las cruzas, se utilizó el diseño línea por probador, descrito por Singh y Chaudhary (1985), bajo el siguiente modelo estadístico.

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

Donde:

$Y_{ijk}$  = Valor fenotípico de la  $ij$ -ésima craza o progenitor en la  $k$ -ésima repetición,  $\mu$  = Media Poblacional,  $i, j = 1, 2, 3, \dots, p$  Progenitores,  $T = P(P - 1)/2$ ,  $R_k$  = Efecto de la  $k$ -ésima repetición,  $G_i$  = Efecto de la ACG del  $i$ -ésimo progenitor,  $G_j$  = Efecto de la ACG del  $j$ -ésimo progenitor,  $S_{ij}$  = Efecto de la ACE del  $i$ -ésimo progenitor con el  $j$ -ésimo progenitor,  $\varepsilon_{ijk}$  = Efecto aleatorio inherente a la  $ij$ -ésima craza en la  $k$ -ésima repetición.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para dar cumplimiento a los objetivos y comprobación de hipótesis en el presente trabajo, se llevó a cabo un análisis de varianza bajo el modelo de línea por probador para cada una de las variables con ayuda del programa SAS 9.0. A continuación se exponen los resultados para el experimento de germinación en presencia de secuestradores de humedad (tolerancia a sequía) y posteriormente los resultados de germinación con filtrados tóxicos de *Fusarium* (resistencia a *Fusarium* spp).

### Tolerancia a sequía

Un resumen de resultados del análisis de germinación se presenta en el Cuadro 4.1

**Para longitud de plúmula (Lp) y longitud de raíz (Lr)** Estas variables no presentaron diferencias significativas, es decir todos los materiales bajo prueba tuvieron un efecto similar para las fuentes de variación del modelo empleado. Por lo que es conveniente probar una dosis mayor del secuestrador de humedad, disminución de riegos y así hacer patente las diferencias.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios del análisis de varianza de 55 híbridos para el experimento tolerancia a sequía.

FV	Gl	Lp (cm)	Lr (cm)	Pfp (grs)	Pfr (grs)	Psp (grs)	Psr (grs)
REPETICION	1	32.9	12.5	0.0102	0.0467 **	0.0000004	0.0000000
LINEA	19	8.1	13.5	0.0054	0.0060 *	0.0000610	0.0001080
PROBADOR	3	4.0	17.3	0.0353 **	0.0095 *	0.0007040 **	0.0006990 **
LIN X PROB	32	6.9	8.5	0.0043	0.0032	0.0000580	0.0000690
REP X LINEA	19	6.9	13.5	0.0054	0.0032	0.0000620	0.0000670
REP X PROB	3	20.0	10.9	0.0065	0.0042	0.0000630	0.0001090
Máximo		16.2	24.4	0.3847	0.2155	0.0464179	0.0494683
Media		9.8	19.3	0.2641	0.0992	0.0278940	0.0269890
Mínimo		6.2	11.7	0.1553	0.0235	0.0157300	0.0162558
CV (%)		33.5	18.3	29.2	52.6	28.9	35.6

\*\* Significancia  $P \leq 0.01$ ; \* Significancia  $P \leq 0.05$ ; F.V.; fuente de variación; GL= grados de libertad; CV= coeficiente de variación; Lp= longitud de plúmula; Lr = longitud de raíz; Pfp= Peso fresco de plúmula; Pfr= Peso Fresco de raíz; Psp= Peso seco de plúmula; Psr= Peso seco de raíz; cm= centímetros; grs= gramos; REP= repetición; LIN= Línea; PROB= Probador.

Estas diferencias estadísticas no significativas en la variable Lr se le puede atribuir lo que menciona Iturriaga (2010) bajo exposición a algún tipo de estrés, las plantas exhiben un amplio rango de mecanismos adaptativos, estos comprenden cambios en la morfología y desarrollo, tales como la inhibición del crecimiento de la raíz.

**En Peso fresco de plúmula (Pfp)**, las líneas y la interacción línea por probador no presentaron diferencias estadísticas significativas. Para probadores hubo diferencias altamente significativas indicando que al menos uno de ellos es diferente de los demás. Situación que permitirá elegir al más adecuado según los intereses del presente estudio.

**El Peso fresco de raíz (Pfr)**, mostró diferencias altamente significativas en repeticiones, esto quiere decir que entre una y otra repetición son diferentes los promedios para esta variable, indica que el experimento fue bien diseñado al lograr extraer los efectos de las repeticiones del error experimental. También se detectaron diferencias significativas en las líneas, indicando que dentro de las líneas al menos hay una diferente, dando así la oportunidad de identificar líneas con atributos excelentes y poder darles seguimiento en otros estudios de campo con sequía, y si se mantiene este comportamiento poder utilizarlas como progenitores de híbridos con tolerancia a la sequía.

Los probadores mostraron diferencias significativas en la variable Pfr indicando que entre los cuatro probadores al menos uno es diferente de ellos para esta variable. Es de gran importancia encontrar variación en la fuente de variación líneas y probador para las variables de peso fresco y seco de raíz, con esto se demuestra lo que expone Valladares *et al.*, (2004), donde señala que las plantas en estrés hídrico adoptan un mecanismo de evitación, como presentar alta densidad de raíces, indica que existe mayor volumen y peso de raíces.

**Peso seco de plúmula (Psp)**, sólo la fuente de variación probador presentó diferencias altamente significativas, indicando que al menos un probador es diferente de los demás para dicha variable, lo cual permitirá la identificación de aquel que exhiba mayor potencial genético.

**Peso seco de raíz (Psr).** Para esta variable mostró diferencias altamente significativas para probadores con valor de  $F = 0.0006$ , indicando que hay un probador diferente de los demás.

El Cuadro 4.2 resume los valores de ACG de todas las líneas; siendo las mejores estadísticamente la línea 1 y 8 para la variable de Peso fresco de raíz (Pfr).

Lo anterior concuerda con Zarco *et al.*, (2005) al encontrar 6 líneas con tolerancia al estrés osmótico en forma *in vitro*, estas mismas fueron llevadas a campo con estrés a sequía, donde 2 de ellas mostraron mayor rendimiento.

Cuadro 4.2 ACG de líneas en las seis variables evaluadas para el experimento tolerancia a sequía.

Var	Lp (cm)			Lr (cm)			Pfp (grs)			Pfr (grs)			Psp (grs)			Psr (grs)		
	Línea	Media	ACG	L.O	Media	ACG	L.O	Media	ACG	L.O	Media	ACG	L.O	Media	ACG	L.O	Media	ACG
1	10.972	1.1537	4	20.9638	1.69831	3	0.32119	0.057068	2	0.14592	0.046743*	1	0.031871	0.003977	5	0.030709	0.003801	5
2	9.5952	-0.22305	10	16.0455	-3.22001*	19	0.23535	-0.02877	14	0.06255	-0.036631	15	0.028059	0.000165	10	0.022433	-0.004556	15
3	9.1964	-0.62189	13	17.7537	-1.51178	18	0.26906	0.004942	9	0.09017	-0.009009	10	0.028236	0.000342	9	0.026256	-0.000733	12
4	9.1367	-0.68156	15	19.2754	0.00996	11	0.25573	-0.008388	11	0.05856	-0.040616	16	0.027046	-0.000848	11	0.020327	-0.006662	19
5	11.7237	1.90544	2	21.68	2.41455	1	0.31924	0.055117	3	0.11761	0.018435	8	0.032779	0.004885	2	0.031509	0.00452	4
6	8.2234	-1.59484	19	19.9405	-0.32495	12	0.2398	-0.024321	13	0.07162	-0.027554	13	0.02648	-0.001414	13	0.021708	-0.005281	17
7	12.0378	2.21951	1	20.9082	1.64271	4	0.29015	0.02603	4	0.13556	0.036385	4	0.031935	0.004041	4	0.034656	0.007667	1
8	10.9261	1.10782	5	19.5602	0.29467	8	0.32121	0.057095	1	0.14293	0.043754*	2	0.03414	0.006246	1	0.032883	0.005894	3
9	7.9984	-1.8199	20	19.3898	0.1243	10	0.23521	-0.028907	15	0.13042	0.034235	6	0.024113	-0.003781	15	0.029242	0.002253	7
10	9.1837	-0.6346	14	18.0376	-1.22787	17	0.21852	-0.0456	18	0.03607	-0.06310**	20	0.022132	-0.005762	18	0.021774	-0.005215	16
11	8.3273	-1.49102	18	19.5682	0.30269	7	0.20025	-0.063869*	19	0.03702	-0.06215**	19	0.022927	-0.004967	17	0.026927	-0.000061	10
12	8.4245	-1.39384	17	15.9793	-3.28619*	20	0.22183	-0.042291	17	0.05525	-0.043922*	17	0.023205	-0.004689	16	0.022592	-0.004397	14
13	9.4017	-0.41659	12	18.6201	-0.64539	15	0.27143	0.007307	8	0.13341	0.034235	5	0.032447	0.004553	3	0.033382	0.006393	2
14	9.7725	-0.04576	9	20.4689	1.20341	5	0.28175	0.017629	5	0.13687	0.037691	3	0.029206	0.001312	7	0.028884	0.001894	8
15	10.9838	1.16552	3	18.6813	-0.58418	14	0.25028	-0.013838	12	0.04919	-0.04999*	18	0.02839	0.000496	8	0.023455	-0.003534	13
16	10.4556	0.63732	7	19.5317	0.26621	9	0.2748	0.010683	7	0.12489	0.025711	7	0.026611	-0.001283	12	0.027203	0.000213	9
17	9.5283	-0.29004	11	18.8335	-0.432	13	0.25703	-0.007087	10	0.08305	-0.01613	11	0.025486	-0.002408	14	0.026703	-0.000286	11
18	10.6638	0.084552	6	21.3762	2.1107	2	0.28037	0.016253	6	0.11067	0.011492	9	0.31121	0.000323	6	0.030217	0.003228	6
19	9.0338	-0.78444	16	19.7142	0.44874	6	0.17032	-0.0938**	20	0.0699	-0.02928	14	0.0186	-0.00929*	20	0.020336	-0.006653	18
20	9.8411	0.02279	8	18.2872	-0.97825	16	0.23425	-0.029873	16	0.0735	-0.025673	12	0.021571	-0.006323	19	0.017142	-0.00984*	20

\*\* Significancia  $P \leq 0.01$ ; \* Significancia  $P \leq 0.05$ ; Var= variables; Lp= longitud de plúmula; Lr = longitud de raíz; Pfp= Peso fresco de plúmula; Pfr= Peso Fresco de raíz; Psp= Peso seco de plúmula; Psr= Peso seco de raíz; ACG= Aptitud combinatoria general; cm= centímetros; grs= gramo; L.O=Lugar ocupado.

Además en el Cuadro 4.2 se puede observar como algunas líneas tienen efectos negativos para diferentes variables, tal como se indica a continuación: en longitud de raíz (Lr) resultaron ser la línea 2 y 12, en peso fresco de plúmula (Pfp), las líneas 11 y 19, para peso fresco de raíz (Pfr) fueron 12, 15, 11 y 10, por último peso seco de plúmula (Psp), la línea 19 y para peso seco de raíz (Psr), la línea 20.

El Cuadro 4.3 indica el valor de aptitud combinatoria general de los probadores en cada una de las variables, destacando con énfasis a los que mostraron mejor comportamiento. Para las variables Peso fresco de plúmula (Pfp), Peso seco de raíz (Psr), Peso seco de plúmula (Psp) y Peso seco de raíz (Psr), sobresalen los probadores 4 y 1, como los mejores estadísticamente. El probador cuatro tiene el mayor poder de discriminación de líneas por encontrarle diferencias estadísticas ( $P \leq 0.01$ ) en dichas variables. Estos resultados concuerdan con los resultados de Hernández (2010) quién reportó probadores con poder de discriminar líneas.

Por otro lado, en las mismas variables (Pfp, Pfr, Psp y Psr) el probador 2 es el que exhibe los efectos más indeseables estadísticamente por mostrar efectos negativos de ACG como se muestra en el Cuadro 4.3. El probador 3 al no mostrar diferencias estadísticas para ninguna variable evaluada, se identificó como el peor probador utilizado en esta investigación por no tener poder de discriminar genotipos con atributos para tolerar la sequía.

Cuadro 4.3 ACG de probadores en las seis variables en tolerancia a sequía.

Var	Lp (cm)			Lr (cm)			Pfp (grs)			Pfr (grs)			Psp (grs)			Psr (grs)		
	Media	ACG	L.O	Media	ACG	L.O	Media	ACG	L.O	Media	ACG	L.O	Media	ACG	L.O	Media	ACG	L.O
1	10.1713	0.35296	2	19.2067	-0.0588	2	0.3012	0.037079*	2	0.11929	0.020115*	2	0.032225	0.004331**	2	0.030665	0.003676*	2
2	9.5093	-0.309	3	20.2508	0.98529	1	0.22381	-0.040312*	4	0.07453	-0.024665*	4	0.022071	-0.00582**	4	0.021979	-0.00501*	4
3	10.1799	0.36163	1	18.5993	-0.6662	4	0.24365	-0.020467	3	0.08694	-0.012231	3	0.025598	-0.002296	3	0.023881	-0.00311	3
4	9.1021	-0.7162	4	18.9058	-0.3597	3	0.30589	0.041775**	1	0.12847	0.029295**	1	0.034463	0.006568**	1	0.034738	0.007749**	1

\*\* Significancia  $P \leq 0.01$ ; \* Significancia  $P \leq 0.05$ ; PROB= Probador; Var= variables; Lp= longitud de plúmula; Lr = longitud de raíz; Pfp= Peso fresco de plúmula; Pfr= Peso Fresco de raíz; Psp= Peso seco de plúmula; Psr= Peso seco de raíz; ACG= Aptitud combinatoria general; cm= centímetros; grs= gramos; L.O= Lugar ocupado.

El Cuadro 4.4 muestra los valores de Aptitud Combinatoria Específica para cada híbrido en las seis variables y el grado de significancia. En este caso, todas las interacciones resultantes de línea por probador no mostraron efectos diferentes de cero, indicando que todos tienen el mismo comportamiento.

Sin embargo, entrando en detalles para la variable de peso fresco de raíz (Pfr), la estimación de ACE muestra al híbrido 15 con una aportación de 0.084768 y probabilidad de 0.05252, siendo estadísticamente mejor que los demás, esto concuerda con Montes de Oca (2003) y Chico (2003), quienes identificaron genotipos tolerantes a sequía. Por lo anterior, está claro que existen híbridos con desempeño sobresaliente en tolerar el estrés por sequía, haciendo uso de estos en un programa de mejoramiento genético realizando cruces con materiales que muestren buen rendimiento.

Cuadro 4.4 ACE de híbridos para las seis variables en el experimento tolerancia a sequía.

Var	Lp (cm)		Lr (cm)		Pfp (grs)		Pfr (grs)		Psp (grs)		Psr (grs)	
HIB	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO
1	-0.196	33	0.013	29	0.0090	24	0.0322	9	-0.00111	30	0.00112	24
2	2.027	6	4.073	2	0.0430	10	-0.0336	44	0.00413	13	0.00146	20
3	-0.792	40	0.089	27	0.0097	22	0.0189	19	-0.00203	35	-0.00696	52
4	-0.619	38	0.716	16	0.0054	25	-0.0177	39	-0.00183	34	-0.00302	40
5	0.207	25	-1.455	48	0.0242	17	0.0228	16	0.00323	17	0.00943	3
6	-1.201	45	-1.161	45	-0.0390	45	-0.0099	35	-0.00513	48	-0.00388	46
7	-0.923	43	0.162	23	0.0001	29	-0.0143	37	0.00215	22	-0.00385	45
8	-0.132	30	-0.222	32	-0.0414	47	0.0049	26	-0.00719	53	-0.00319	41
9	-0.877	41	-0.628	37	-0.0473	49	-0.0462	51	-0.00300	39	0.00089	25
10	-2.572	53	-4.262	55	-0.0987	55	-0.0256	41	-0.00580	50	-0.00507	49
11	1.633	9	1.244	12	0.0532	4	-0.0221	40	0.00880	1	0.00658	6
12	-0.891	42	0.089	26	-0.0277	39	-0.0079	33	-0.00510	47	-0.00040	29
13	-0.190	31	0.227	22	-0.0487	50	-0.0285	43	-0.00455	46	-0.00431	47
14	0.494	18	-0.698	39	-0.0003	30	0.0145	21	0.00116	23	-0.00230	37
15	1.669	8	1.404	9	0.0673	2	0.0848*	1	0.00600	7	0.00948	2
16	0.309	22	-0.985	44	0.0403	13	0.0246	15	0.00582	10	0.00501	12
17	0.246	24	-3.763	54	-0.0213	38	-0.0420	50	-0.00284	38	-0.00195	34
18	1.138	12	1.472	8	0.0345	14	0.0351	8	0.00659	4	0.00842	4
19	-0.024	29	1.762	6	0.0006	28	-0.0531	52	0.00232	20	-0.00208	36
20	1.283	11	1.068	13	0.0447	7	0.0132	22	0.00562	11	0.00118	23
21	-2.137	50	-0.653	38	-0.0277	40	0.0096	24	-0.00359	42	-0.00526	50
22	-0.197	34	-0.800	42	0.0210	19	0.0402	7	0.00064	26	-0.00049	30
23	0.725	14	0.144	24	0.0290	16	0.0219	17	0.00329	16	0.00163	18
24	0.309	21	-0.985	43	0.0403	12	0.0246	14	0.00582	9	0.00501	11
25	2.373	3	2.211	4	0.0432	9	0.0021	27	0.00332	15	0.01009	1
26	0.269	23	0.028	28	-0.0092	34	0.0085	25	-0.00340	41	-0.00376	44
27	2.574	2	0.406	19	0.0504	6	0.0424	5	0.00705	3	0.00144	21
28	-2.399	52	-0.449	34	-0.0518	51	-0.0088	34	-0.00393	43	0.00141	22
29	-2.769	55	-1.554	50	-0.0365	43	-0.0037	31	-0.00570	49	-0.00676	51
30	2.027	5	1.337	11	0.0560	3	0.0418	6	0.00595	8	0.00549	8
31	-0.274	35	0.102	25	-0.0375	44	-0.0339	45	-0.00688	52	-0.00763	53
32	-2.741	54	-3.348	53	-0.0596	53	0.0257	12	-0.00616	51	-0.00203	35
33	2.271	4	4.531	1	0.0517	5	0.0248	13	0.00639	6	0.00545	9
34	-0.925	44	-2.448	52	-0.0161	35	-0.0006	29	-0.00097	29	-0.00097	32
35	-0.589	37	-0.567	36	-0.0011	31	0.0470	3	-0.00176	33	-0.00291	39
36	-0.196	32	0.636	17	0.0211	18	0.0214	18	0.00089	25	0.00230	16
37	3.778	1	0.273	21	-0.0342	42	-0.0342	46	-0.00162	32	0.00242	15
38	0.069	27	1.366	10	-0.0205	37	-0.0146	38	-0.00235	36	-0.00058	31
39	0.713	15	2.283	3	0.0095	23	0.0474	2	-0.00307	40	-0.00025	28
40	-0.778	39	-0.463	35	0.0318	15	0.0149	20	0.00483	12	0.00649	7
41	-1.405	46	-1.162	46	-0.0640	54	-0.0614	54	-0.01168	55	-0.01298	55
42	-2.307	51	-1.533	49	-0.0203	36	0.0304	10	-0.00161	31	0.00162	19
43	0.177	26	0.636	18	0.0111	21	0.0000	28	0.00306	18	-0.00017	27
44	1.500	10	0.886	15	0.0758	1	0.0110	23	0.00656	5	0.00534	10
45	0.695	16	-0.110	31	-0.0071	33	-0.0643	55	0.00350	14	0.00173	17
46	-2.080	49	-1.656	51	0.0048	26	-0.0049	32	0.00217	21	0.00263	14
47	0.471	19	0.969	14	-0.0299	41	-0.0355	47	-0.00061	28	-0.00181	33
48	-1.415	47	-0.758	41	-0.0582	52	-0.0143	36	-0.00430	45	0.00016	26
49	0.425	20	-0.444	33	-0.0449	48	-0.0372	48	-0.00417	44	-0.00290	38
50	-0.407	36	0.318	20	0.0437	8	0.0264	11	0.00028	27	0.00339	13
51	0.065	28	-0.060	30	0.0036	27	-0.0275	42	0.00094	24	-0.00456	48
52	0.671	17	-0.755	40	-0.0012	32	-0.0539	53	0.00265	19	-0.00345	42
53	0.871	13	1.483	7	0.0169	20	-0.0013	30	-0.00260	37	-0.01143	54
54	1.759	7	2.188	5	0.0427	11	0.0444	4	0.00740	2	0.00834	5
55	-1.712	48	-1.200	47	-0.0403	46	-0.0387	49	-0.00757	54	-0.00354	43

\*\* Significancia  $P \leq 0.01$ ; \* Significancia  $P \leq 0.05$ ; Var= variables; HIB= híbrido; Lp= longitud de plúmula; Lr= longitud de raíz; Pfp= Peso fresco de plúmula; Pfr= Peso Fresco de raíz; Psp= Peso seco de plúmula; Psr= Peso seco de raíz; ACE= Aptitud combinatoria específica; cm= centímetros; grs= gramos; LO= lugar ocupado.

## **Análisis de la Resistencia a Fusarium spp**

El Cuadro 4.5 muestra los cuadrados medios para las seis variables evaluadas en el experimento de resistencia a Fusarium spp. en 55 genotipos.

**Las variables de Longitud de plúmula (Lp) y Longitud de raíz (Lr)** en las fuentes de variación no se detectaron efectos que ocasionen diferencias significativas que era lo esperado en este estudio, por lo que se sugiere emplear otras concentraciones más fuertes del filtrado tóxico y riegos agregando filtrado tóxico.

**Peso fresco de plúmula (Pfp)**, en esta variable sólo la fuente de variación probador presentó diferencias altamente significativas, esto indica que dentro de los cuatro probadores involucrados al menos uno de ellos es diferente del resto.

**Peso fresco de raíz (Pfr)**, resultó diferencias altamente significativas para la fuente de variación probador, indicando que entre los probadores al menos uno es diferente de los demás. Para interacción línea x probador resultó con diferencias significativas, significa que al menos una craza presenta mayor peso fresco de raíz.

**Peso seco de plúmula (Psp)**, para esta variable mostró diferencias en la fuente de variación probador, quiere decir que entre los cuatro probadores involucrados, al menos uno presenta mayor peso seco de plúmula.

Para la variable **Peso seco de raíz (Psr)**, existió diferencias significativas para la fuente de variación repetición, significa que el experimento fue bien diseñado al lograr extraer los efectos de las repeticiones del error experimental. Para probadores, resultó diferencias altamente significativas, señalando que entre ellos al menos uno es diferente al resto.

Cuadro 4.5 Cuadrados medios del análisis de varianza de 55 híbridos para el experimento resistencia a *Fusarium spp.*

FV	Gl	Lp (cm)	Lr (cm)	Pfp (grs)	Pfr (grs)	Psp (grs)	Psr (grs)
REPETICION	1	24.4	11.6	0.0115	0.0016	0.000000	0.000482 *
LINEA	19	7.1	7.4	0.0033	0.0033	0.000041	0.000071
PROBADOR	3	15.1	2.5	0.0731 **	0.0231 **	0.001320 *	0.000849 **
LIN X PROB	32	7.8	11.3	0.0109	0.0050 *	0.000102	0.000114
REP X LINEA	19	5.5	4.5	0.0041	0.0027	0.000037	0.000041
REP X PROB	3	7.8	6.3	0.0133	0.0032	0.000121	0.000062
Máximo		18.0	23.7	0.5256	0.2907	0.054729	0.051027
Media		14.4	19.5	0.3329	0.1401	0.031135	0.025782
Mínimo		10.1	11.5	0.1803	0.0392	0.015600	0.011700
CV(%)		20.6	17.9	25.2	35.9	24.9	32.2

\*\* Significancia  $P \leq 0.01$ ; \* Significancia  $P \leq 0.05$ ; FV; fuente de variación; GL= grados de libertad; CV= coeficiente de variación; Lp= longitud de plúmula; Lr = longitud de raíz; Pfp= Peso fresco de plúmula; Pfr= Peso Fresco de raíz; Psp= Peso seco de plúmula; Psr= Peso seco de raíz; cm= centímetros; grs= gramos.

El Cuadro 4.6 muestra los efectos de ACG para *Fusarium* de cada una de las líneas, en la discusión exclusivamente se incluirán las estadísticamente diferentes.

Para **longitud de plúmula (Lp)**, la línea 2 resultó como la de mejores efectos, así mismo, la línea 13 para las variables peso fresco de plúmula (Pfp), peso fresco de raíz (Pfr) y peso seco de raíz (Psr). Estas líneas tienen un comportamiento sobresaliente para resistencia al patógeno *Fusarium*, esto concuerda con los resultados de Mendoza *et al.* (2006) al encontrar cuatro líneas resistentes al patógeno al inocularlas en etapa de floración.

Además en este Cuadro 4.6 se observa el comportamiento con efectos negativos de algunas líneas en las variables que a continuación se describe: para longitud de raíz (Lr) la línea 15, para peso fresco de plúmula (Pfp) la línea 11, para peso fresco de raíz (pfr) las líneas 15 y 19, para peso seco de plúmula (Psp) las líneas 11 y 19 y para la variable peso seco de raíz (Psr) resultan las líneas 15 y 19 como las peores.

Cuadro 4.6 ACG de líneas en las seis variables para resistencia a *Fusarium*

Var	Lp (cm)			Lr (cm)			Pfp (grs)			Pfr (grs)			Psp (grs)			Psr (grs)		
Línea	Media	ACG	Lugar	Media	ACG	Lugar	Media	ACG	Lugar	Media	ACG	Lugar	Media	ACG	Lugar	Media	ACG	Lugar
1	14.2759	-0.12658	12	18.6975	-0.83399	15	0.33715	0.004239	8	0.14386	0.003731	9	0.034504	0.0033683	4	0.029056	0.003274	4
2	16.9948	2.59231*	1	18.5133	-1.0182	17	0.3634	0.030494	4	0.14389	0.003765	8	0.031865	0.0007294	8	0.024352	-0.00143	12
3	15.6248	1.22237	4	19.9563	0.042472	7	0.35723	0.02432	5	0.12318	-0.016944	14	0.033939	0.0028032	5	0.024238	-0.001544	13
4	13.8751	0.52738	15	21.2294	1.69784	1	0.34366	0.010754	7	0.15065	0.010526	6	0.030764	-0.000371	9	0.025921	0.000139	9
5	12.4126	-1.98988	20	19.985	0.45351	6	0.29809	-0.034814	18	0.12246	-0.017667	15	0.028958	-0.002178	15	0.025772	-0.00001	10
6	13.6471	-0.75534	16	19.9146	0.38311	9	0.32063	-0.012274	12	0.12174	-0.018383	16	0.030305	-0.000831	10	0.024016	-0.001766	14
7	14.8072	0.40475	7	19.7708	0.23929	10	0.35123	0.018328	6	0.16836	0.02823	3	0.033026	0.0018907	6	0.029243	0.003462	2
8	14.7806	0.37812	9	18.4409	-1.09063	18	0.38518	0.052275	2	0.14802	0.007896	7	0.037426	0.0062907	1	0.028704	0.002922	6
9	12.6941	-1.70838	19	20.5059	0.97432	4	0.30665	-0.026254	14	0.16535	0.025223	5	0.028347	-0.002788	16	0.02912	0.003338	3
10	14.0353	-0.3672	13	17.5817	-1.94978	19	0.30044	-0.032464	17	0.11626	-0.023863	18	0.027495	-0.00364	17	0.022729	-0.003052	16
11	13.2615	-1.14095	18	19.1004	-0.43113	13	0.25646	-0.07644*	20	0.17636	0.036234	2	0.022797	-0.00834*	20	0.027773	0.001991	8
12	14.8023	0.39987	8	19.9307	0.39918	8	0.33246	-0.000446	10	0.13889	-0.001241	10	0.029361	-0.001775	13	0.021936	-0.003845	17
13	13.4651	-0.93731	17	18.6538	-0.87774	16	0.40649	0.073583*	1	0.22515	0.085019**	1	0.035528	0.0043926	2	0.035823	0.010041**	1
14	14.6513	0.24881	10	20.5769	1.04538	3	0.36445	0.031538	3	0.13437	-0.005753	11	0.034762	0.0036262	3	0.027922	0.002141	7
15	14.9433	0.54088	6	15.6031	-3.9284*	20	0.30371	-0.029195	15	0.07748	-0.062648**	20	0.025648	-0.005488	18	0.014802	-0.01098**	20
16	13.8783	-0.52412	14	10.0306	-0.50097	14	0.33655	0.003638	9	0.16583	0.025704	4	0.032825	0.0016895	7	0.028988	0.003207	5
17	15.123	0.72057	5	20.2467	0.71518	5	0.31767	-0.015237	13	0.11997	-0.02016	17	0.029937	-0.001198	11	0.025169	-0.000612	11
18	14.37	-0.03246	11	19.2758	-0.25574	12	0.30052	-0.03239	16	0.12541	-0.014717	12	0.029143	-0.001993	14	0.022783	-0.002999	15
19	15.7857	1.38326	3	19.4679	-0.06367	11	0.26687	-0.066039	19	0.09416	-0.045966*	19	0.023668	-0.00747*	19	0.016014	-0.00977**	19
20	16.3054	1.90291	2	21.0656	1.53405	2	0.32415	-0.008754	11	0.12399	-0.016139	13	0.029705	-0.00143	12	0.021784	-0.003997	18

\*\* Significancia  $P \leq 0.01$ ; \* Significancia  $P \leq 0.05$ ; Var= variables; Lp= longitud de plúmula; Lr = longitud de raíz; Pfp= Peso fresco de plúmula; Pfr= Peso Fresco de raíz; Psp= Peso seco de plúmula; Psr= Peso seco de raíz; ACG= Aptitud combinatoria general; cm= centímetros; grs= gramos

El Cuadro 4.7 muestra los valores de aptitud combinatoria general de probadores en cada variable, indicando el grado de variación entre probadores. A continuación se describen los probadores que presentaron diferencias estadísticas en las variables.

Para las variables peso fresco de plúmula (Pfp), peso fresco de raíz (Pfr), peso seco de plúmula (Psp) y peso seco de raíz (Psr), resulta el probador 4 como el mejor estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ). Así mismo para las mismas variables, el probador 2 tiene efectos negativos. Haciendo una comparación en el comportamiento de ambos probadores se le puede atribuir que pertenecen a grupos germoplásmicos diferentes al existir divergencia entre ellos (De León, 2005).

Cuadro. 4.7 ACG de probadores en las seis variables para resistencia a *Fusarium* spp.

Var	Lp (cm)			Lr (cm)			Pfp (grs)			Pfr (grs)			Psp (grs)			Psr (grs)		
	PROB	Media	ACG	L.O	Media	ACG	L.O	Media	ACG	L.O	Media	ACG	L.O	Media	ACG	L.O	Media	ACG
1	15.05	0.65379	1	19.04	-0.49138	4	0.35325	0.020347	2	0.13956	-0.00057	2	0.033657	0.002521	2	0.027058	0.001276	2
2	13.57	-0.83135	4	19.99	0.45811	1	0.2709	-0.062009**	4	0.11148	-0.028643**	4	0.02416	-0.00698**	4	0.020747	-0.00504**	4
3	14.33	-0.06972	3	19.49	-0.04321	3	0.32392	-0.008985	3	0.13414	-0.005986	3	0.028687	-0.002449	3	0.02341	-0.002372	3
4	14.82	0.41988	2	19.67	0.13227	2	0.41832	0.085411**	1	0.19946	0.05933**	1	0.042913	0.011778**	1	0.036262	0.01048**	1

\*\* Significancia  $P \leq 0.01$ ; \* Significancia  $P \leq 0.05$ ; PROB= Probador; Var= variables; Lp= longitud de plúmula; Lr = longitud de raíz; Pfp= Peso fresco de plúmula; Pfr= Peso Fresco de raíz; Psp= Peso seco de plúmula; Psr= Peso seco de raíz; ACG= Aptitud combinatoria general; cm=centímetros; grs= gramos; L.O= Lugar ocupado.

El Cuadro 4.8 muestra los valores de aptitud combinatoria específica (ACE) de cada híbrido, a continuación se discuten. Para peso fresco de raíz (Pfr) se identifican los híbridos 7 y 9 como los mejores estadísticamente con nivel de significancia  $P \leq 0.05$ , es necesario evaluar el comportamiento de estos materiales en campo con inoculación del patógeno para corroborar dicha expresión. Investigadores como Presello *et al.* (2008) encontraron resistencia a *Fusarium graminearum* y *F. verticillioides* en híbridos al inocularlos en etapa de floración. Por otro lado Montes de Oca (2003), Chico (2003) y Ventura (2004) identificaron genotipos sobresalientes para resistencia al patógeno *Fusarium moniliforme*.

Por otra parte, en el mismo cuadro se identifican los híbridos con efectos negativos de ACE como se describe a continuación: para la variable peso fresco de plúmula (Pfp) la cruce 6, para peso fresco de raíz (Pfr) la interacción 39 y 50 y para la variable peso seco de plúmula (Psp) se identifica al híbrido 55 como el peor estadísticamente. Estos resultados por un lado demuestra que el patógeno es altamente invasivo, así lo expone Figueroa *et al.* (2010) al encontrar 12 de 13 razas de maíz más susceptibles al género *Fusarium*.

Cuadro 4.8 ACE de híbridos para las seis variables en el experimento resistencia a *Fusarium*.

Var	Lp (cm)		Lr (cm)		Pfp (grs)		Pfr (grs)		Psp (grs)		Psr (grs)	
	HIB	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO	ACE	LO	
1	2.350	3	1.707	11	0.0586	12	0.0324	13	0.01187	1	0.00562	11
2	0.395	24	1.930	9	-0.0267	37	-0.0070	31	0.01125	2	-0.00259	39
3	1.371	12	0.668	20	-0.0094	29	-0.0205	42	0.00937	3	-0.00252	37
4	2.831	2	-0.871	39	0.0640	8	-0.0060	29	0.00886	4	0.00101	22
5	-3.003	54	-0.860	38	-0.0429	43	0.0102	22	0.00877	5	0.00197	21
6	-3.311	55	-4.215	54	-0.149*	55	-0.0769	53	0.00847	6	-0.01265	53
7	1.659	10	1.681	13	0.1251	2	0.0882*	2	0.00793	7	0.01285	1
8	-1.051	41	-1.913	50	-0.0375	41	-0.0399	48	0.00771	8	-0.00894	50
9	1.129	15	2.779	2	0.0502	15	0.0905*	1	0.00730	9	0.01087	3
10	-0.796	37	0.571	22	-0.0152	33	-0.0039	27	0.00698	10	-0.00092	30
11	1.452	11	-0.986	40	0.0577	13	0.0165	17	0.00698	11	0.00571	9
12	-2.497	53	-3.656	53	-0.0785	50	-0.0377	47	0.00654	12	-0.00436	44
13	-0.268	29	1.098	18	0.0229	21	0.0209	16	0.00562	13	0.00001	25
14	-1.071	42	1.228	17	-0.0340	38	-0.0035	26	0.00553	14	-0.00122	31
15	-0.035	28	2.133	7	-0.0096	30	-0.0108	34	0.00400	15	-0.00013	26
16	0.831	19	-0.458	33	0.0620	11	0.0286	15	0.00344	16	0.00504	14
17	-1.080	43	-1.001	41	-0.0471	45	-0.0060	30	0.00326	17	-0.00201	35
18	-1.800	49	1.966	8	0.0007	27	0.0444	8	0.00282	18	0.00563	10
19	3.620	1	2.152	6	0.1303	1	0.0378	11	0.00212	19	0.00806	7
20	1.923	7	1.668	14	0.0625	9	0.0144	19	0.00182	20	0.00419	16
21	-1.474	46	0.103	25	-0.0702	49	-0.0554	49	0.00153	21	-0.00573	48
22	0.204	25	0.430	23	-0.0042	28	-0.0058	28	0.00117	22	0.00063	23
23	-0.287	30	-2.826	51	0.0263	20	-0.0118	35	0.00082	23	-0.00436	45
24	0.831	18	-0.458	32	0.0620	10	0.0286	14	0.00066	24	0.00504	13
25	-1.267	44	-0.743	36	-0.0493	46	-0.0185	41	0.00056	25	-0.00447	46
26	-0.666	34	1.243	16	0.0376	17	0.0423	10	0.00045	26	0.00343	18
27	-0.755	35	-0.554	34	-0.0500	47	-0.0575	50	-0.00008	27	-0.00631	49
28	2.329	4	-1.301	46	0.0826	3	0.0480	6	-0.00024	28	0.00761	8
29	-1.651	47	-4.790	55	-0.0158	34	-0.0130	37	-0.00037	29	-0.00209	36
30	0.005	27	-0.096	29	-0.0107	31	-0.0213	43	-0.00066	30	-0.00133	32
31	-2.428	52	-3.637	52	-0.0900	51	-0.0705	52	-0.00068	31	-0.01365	55
32	-0.980	39	-1.396	48	0.0153	23	0.0136	21	-0.00081	32	0.00368	17
33	-0.478	32	1.470	15	0.0139	24	0.0154	18	-0.00085	33	0.00319	19
34	-0.784	36	-1.018	42	-0.0141	32	-0.0032	25	-0.00175	34	-0.00051	29
35	-0.370	31	-1.215	45	-0.0367	40	-0.0128	36	-0.00176	35	-0.00390	43
36	0.723	21	1.688	12	0.0730	6	0.0629	3	-0.00193	36	0.00908	4
37	0.921	16	-1.048	43	0.0311	19	0.0356	12	-0.00219	37	0.00008	24
38	-1.967	51	0.601	21	-0.1143	52	-0.0268	46	-0.00277	38	-0.00257	38
39	-1.957	50	-1.909	49	-0.1173	53	-0.0955*	55	-0.00350	39	-0.01256	52
40	1.188	14	2.411	4	0.0447	16	0.0464	7	-0.00370	40	0.01177	2
41	1.371	13	-0.032	27	-0.0420	42	-0.0596	51	-0.00400	41	-0.01283	54
42	-0.539	33	-0.181	30	-0.0447	44	-0.0236	44	-0.00407	42	-0.00301	40
43	1.913	8	4.190	1	0.0671	7	0.0443	9	-0.00458	43	0.00546	12
44	-1.010	40	0.149	24	0.0021	26	-0.0092	33	-0.00469	44	-0.00026	27
45	1.932	6	2.733	3	0.0760	5	0.0590	4	-0.00548	45	0.00836	6
46	0.896	17	-0.319	31	0.0817	4	0.0559	5	-0.00565	46	0.00874	5
47	-0.927	38	2.332	5	-0.0654	48	-0.0147	40	-0.00569	47	-0.00136	34
48	0.015	26	-1.194	44	0.0079	25	-0.0131	38	-0.00658	48	-0.00301	41
49	0.491	22	0.803	19	-0.0203	36	-0.0245	45	-0.00675	49	-0.00498	47
50	-1.279	45	-0.791	37	-0.1208	54	-0.0926*	54	-0.00865	50	-0.01155	51
51	2.014	5	1.715	10	0.0550	14	0.0139	20	-0.00894	51	0.00212	20
52	0.451	23	-1.356	47	0.0366	18	-0.0132	39	-0.01141	52	-0.00330	42
53	1.821	9	0.074	26	0.0207	22	-0.0077	32	-0.01165	53	-0.00133	33
54	-1.721	48	-0.057	28	-0.0344	39	0.0062	24	-0.01189	54	0.00472	15
55	0.781	20	-0.643	35	-0.0167	35	0.0065	23	-0.01449*	55	-0.00042	28

\*\* Significancia  $P \leq 0.01$ ; \* Significancia  $P \leq 0.05$ ; Var= variables; HIB= híbrido; MED= media; Lp= longitud de plúmula; Lr = longitud de raíz; Pfp= Peso fresco de plúmula; Pfr= Peso Fresco de raíz; Psp= Peso seco de plúmula; Psr= Peso seco de raíz; ACE= Aptitud combinatoria específica; cm= centímetros; grs= gramos; LO= lugar ocupado.

## V. CONCLUSIONES

Las líneas 1 (((M1xE-197) x E-197-6)-6) y 8 (((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-10), así como los probadores 4 (351-296-1-6 X (PEEC1)-35-3) y 1 (MLS4-1 X PE-115-3) presentan atributos sobresalientes para tolerar el estrés por sequía simulada con secuestradores de humedad.

Para resistencia a *Fusarium spp.* la línea 13 (((M7xV524) x M7)-17) y el probador 4 (351-296-1-6 X (PEEC1)-35-3) son los mejores materiales a resistir efectos del filtrado tóxico del patógeno *Fusarium*.

En la estimación de ACE resultan los híbridos 9 (((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-15) x (MLS4-1 X PE-115-3) y 7 (((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-7) x (MLS4-1 X PE-115-3) como los mejores en tolerancia a *Fusarium ssp.*

Los resultados muestran que en ambos experimentos; tolerancia a sequía y a *Fusarium* el probador 4 tiene un comportamiento muy favorable y prometedor para su uso posterior en la formación de híbridos superiores en las condiciones estudiadas.

## VI. RESUMEN

Actualmente la agricultura enfrenta problemas como es la sequía consecuencia del cambio climático, las pérdidas económicas por éste fenómeno aumentan cada año en el cultivo de maíz. Por otra parte el factor biótico como las enfermedades fungosas afecta el cultivo de maíz reduciendo los rendimientos y contaminar con micotoxinas, dañino para humanos y animales. Tomando en cuenta lo anterior es necesario la obtención de genotipos tolerantes a sequía y a *Fusarium*. La presente investigación se evaluaron 55 genotipos en laboratorio para tolerancia a sequía y resistencia a *Fusarium spp* con los objetivos a) identificar los híbridos y sus progenitores con mayor tolerancia a sequía y al *Fusarium spp*, b) estimar la aptitud combinatoria general (ACG) de líneas y probadores y aptitud combinatoria específica (ACE) de híbridos para tolerancia a sequía y *Fusarium*. El material genético fueron 55 cruza originadas de las cruza de 20 líneas con 4 probadores. La siembra se realizó en tacos colocando 15 semillas de cada material en papel germinador agregando manitol a una concentración de -5 bar como secuestrador de humedad, para resistencia a *Fusarium spp* se agregó filtrado tóxico del patógeno a una concentración de 25% como inoculación artificial en el taco sembrado, los riegos se realizaron cada 72 hrs y la toma de datos se realizó a los 10 días después de la siembra. El arreglo de los tratamientos fue bajo un diseño de bloques al azar con dos repeticiones, se empleó el diseño línea

por probador para la estimación de efectos de ACG y ACE. Las variables tomadas fueron seis; longitud de plúmula (Lp), longitud de raíz (Lr), peso fresco de plúmula (Pfp), peso fresco de raíz (Pfr), peso seco de plúmula (Psp), peso seco de raíz (Psr). Los resultados para tolerancia a sequía mostraron diferencias estadísticas en la fuente de variación líneas para la variable Pfr y probador en las variables Pfp, Pfr, Psp y Psr, en la estimación de ACG sobresalen las líneas 1 y 8, así como los probadores 4 y 1 porque presenta efectos favorables de acuerdo a los objetivos. Para resistencia a *Fusarium spp.* se detectaron diferencias estadísticas entre probadores y la interacción línea por probador, para el efecto de ACG sobresalen la línea 13 y el probador 4, para ACE sobresalen los híbridos 9 y 7 ya que exhiben comportamiento favorable en presencia del inóculo. Los resultados muestran que en ambos experimentos el probador 4 tiene un comportamiento muy favorable, a estos materiales se sugiere se les de seguimiento de su comportamiento en el campo y si mantienen esos atributos usarlos como progenitores o combinaciones excelentes.

**Palabras clave:** Tolerancia a sequía, Resistencia a *Fusarium*, Línea, Probador, ACG y ACE.

## VII. LITERATURA CITADA

- Agrios** G. N. 2008. Fitopatología 2ª Ed. Pág. 425 - 427. Limusa. México D.F.
- Alfonso** C. R. 2006. Mejoramiento para resistencia a la sequía en el cultivo de arroz. Instituto de investigaciones del arroz. La Habana, Cuba.
- Antuna** G. O., F. Rincón S., E. Gutiérrez del R., N.A. Ruiz T. y L. A. Bustamante G. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 26, número 001. Chapingo, México. Pp. 11-17.
- Arrieta** K., C. Salazar., O. Campo R. y N. Villarreal. 2007. Enfermedades patogénicas en los híbridos de maíz (*Zea mays*) en el Medio y Bajo Sinú del departamento de Córdoba. Temas Agrarios. Vol. 12:(1). 58-59. Córdoba, Colombia.
- Avendaño** A. C. H., J.D. Molina G., C. Trejo L., C. López C. y I.J. Jorge Cadena. 2008. Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz. Agronomía Mesoamericana 19(1): 27-37.
- Basurto** S. A., R. Núñez B., R. Pérez L., y O.A. Hernández R. 2008. Fisiología del estrés ambiental en plantas. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma d Chihuahua. Chihuahua, México.
- Bravo** L. A. G., H. Salinas G. y A. Rumayor R. 2006. Sequía: Vulnerabilidad, Impacto y Tecnología para Afrontarla en el Norte Centro de México. Inifap. Campo Experimental Zacatecas. Libro Técnico Num. 4. 2ª Edición.
- Cantú** A. M. A. 2008. H-440: nuevo híbrido de maíz tolerante a la sequía para el noreste de México. Inifap.

- Chavarri M., O. Luzón., C. Mazzani., C. González., J. Alezones y J. Garrido M.** 2009. Mohos toxigénicos y micotoxinas en maíz de grano blanco cosechado bajo riego en los estados Yaracuy y Portuguesa, Venezuela. *Fitopatol. Venez.* 22: 2-7.
- Chico A. L. A.** 2003. Selección de 221 hermanos completos de maíz *Zea mays* L. para tolerancia a sequía en al hongo *Fusarium moniliforme* (Sheld) bajo condiciones de laboratorio. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo Coahuila, México.
- Christiansen M. N. y F. Lewis C.** 1999. Mejoramiento de plantas en ambientes poco favorables. Editorial Limusa. México D.F.
- Coego G. A., V. Ramírez G., P. Vera V.,** 2006. Uso del gen OCP3 como regulador de la resistencia a sequía en plantas. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- De la Rosa L. A., H. De León C., F. Rincón S. y G. Martínez Z.** 2006. Efectos genéticos, heterosis y diversidad genética entre híbridos comerciales de maíz adaptados a el bajío mexicano. *Revista Fitotecnia Mexicana.* Vol. 29, número 003. Chapingo, México. Pp. 247-254.
- De León C. H.** 2005. Estudio y clasificación de grupos germoplásmicos para la constitución de patrones heteróticos en maíz. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo Coahuila, México.
- Elizarrarás C. M. E.** 2006. Mejoramiento de la expresión heterótica de dos grupos germoplásmicos mediante identificación de probadores adecuados. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo Coahuila, México.
- Fauguel C. M., J. Iglesias., A. Presello D., G. Botta., F. Borrás., D. Sanpietro. y C. Andreo.** 2008. Efecto *in vitro* de compuestos volátiles sobre el crecimiento de *Fusarium verticillioides*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Centro Regional Buenos Aires Norte. Estación Experimental Agropecuaria Pergamino, Argentina.
- Ferrera C. R. y A. Alarcón.** 2007. Microbiología Agrícola: Hongos, Bacterias, Micro y Macro Fauna, Control Biológico, Planta Microorganismo. Trillas. México D.F. Pág. 518.
- Figueroa G. R. M., M Reynoso M., C.E. Castro Z. y W. P. Reyes V.** 2006. Estudio de las poblaciones de *Fusarium* (Sección *Liseola*) aisladas

de híbridos de maíz cultivados en México. Revista *scientia-CUCBA* 8(2):141—161.

**Figuroa** 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: numero 2:124-134.

**Figuroa** R. M.G., R. Rodríguez G., B.Z. Guerrero A., M.M. González C., H. Pons. M. Frahm., C. Rosas J., N. Mayek., E. López., J.A. Acosta. y D. Kelly J. 2003. Resistencia a sequía terminal en frijol negro tropical. Agronomía Mesoamericana, vol. 14, número 002. Universidad de Costa Rica, Alajuela, Costa Rica. Pp. 143-150.

**Gámez** E. I. A., J.L. Cabrera P., L.R. Herrera E., C. Hernández L., R. Montes De Oca L. 2004. Mejora del crecimiento de plantas de tabaco mediante la inhibición del gen de la trehalasa. CIENCIA UANL / VOL. VII, No. 4. Monterrey, Nuevo León, México.

**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, núm. 1, pp. 15-20 UNAM. Distrito Federal, México.

**González** G. M. E., 2002. Métodos de Análisis de Laboratorio, Evaluaciones y Métodos de Campo para la Selección de Genotipos de Maíz Utilizados en el I.M.M., Buenavista Saltillo Coahuila, México. Pág. 119-152.

**González** L. M.; L. Argentel, Zaldívar, Nircia; R. Ramírez. 2005. Efecto de la sequía simulada con peg-6000 sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas de dos variedades de trigo. Cultivos Tropicales, vol. 26, núm. 4, pp. 49-52 Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) La Habana, Cuba.

**Hernández** M. O. L. 2010. Valoración de genotipos experimentales de maíz considerando estabilidad e índices de selección fenotípicos y genotípicos. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo Coahuila, México.

**Hernández** C. M. E., L.A.Torres T. y G. Valdez M. G. 1999. Sequía meteorológica. UNAM. Estado de México, México.

- Iturriaga** de la F. G. y S.J. Rodríguez S. 2010. La acumulación de trehalos en *Azospirillum brasilense* mejora la tolerancia a la sequía y la biomasa en plantas de maíz. Revista Claridades Agropecuarias. N. 202 pp. 40-46.
- Jugenheimer** R. W. 1981. Maíz: Variedades Mejoradas, Métodos de Cultivo y Producción de Semilla. Limusa. México D.F.
- Levin** L., A. Ridaó y Castaño. 2003. Fusariosis de la espiga en el maíz. Unidad Integrada Facultad de Ciencias Agrarias-UNMdP y EEA Balcarce-INTA. Agrolluvia.com.
- Leyva** E. M. 2007. Comportamiento de híbridos triples con progenitores de diferente fondo genético para elección de dosis germoplásmicas óptimas en maíz. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, saltillo Coahuila, México
- Moreno** F. L. P. 2009. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. Universidad Nacional de Colombia. Agronomía Colombiana 27(2), 179-191. Bogotá, Colombia.
- Márquez** S. F. 1988. Genotécnia Vegetal. Métodos Teoría y Resultados. Tomo II. Pág. 1, 2,5, 482.
- Márquez** S. F. 1991. Genotécnia Vegetal. Métodos Teoría y Resultados. Tomo III. AGT editor, S. A. México, D.F. Pág. 382.
- Martínez** R. J. L., Pescador R. A., Lezama G. R., Rebolledo D. O., Molina O. J., López L. M. y Betancourt V. A. 2005. Aspectos epidemiológicos de *Fusarium moniliforme* causante del tizón de la panoja del sorgo. Revista A.I.A. vol. 9 número 003, Universidad de Colima, pp. 11-18, Colima, México.
- Mazzani**, C., O. Luzón, M. Chavarri y J. Alezones. 2006. Metodología rápida para evaluar *in vitro* la respuesta de genotipos de maíz a la acumulación de aflatoxinas. Fitopatol. Venez. 19: 10-14.
- Mego** N., A. Lori G., J. Iglesias, G. Botta y A. Presello D. 2005. Identificación de *Fusarium spp* (sección liseola) aisladas de maíz en regiones templadas y subtropicales en la Argentina. INTA. CC 31, B2700KXC, Pergamino, Argentina.
- 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, número 001. Universidad de Costa Rica. Alajuela, Costa Rica.  
Pp. 19-24.

- Montes de Oca** V. F. G. 2003. Selección de líneas de maíz (*Zea mays L.*) para tolerancia a sequía y al hongo *Fusarium moniliforme* (Sheld) bajo condiciones de laboratorio. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo Coahuila, México.
- Musito** R. A. 2007. Comportamiento de líneas y probadores de diferente fondo genético, para identificar híbridos triples de maíz sobresalientes. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo Coahuila, México
- Peña** D. A. Z. 2006. Estimación de la aptitud combinatoria de líneas de maíz para generar híbridos con adaptación en altitudes de 1500–2000 msnm. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo Coahuila, México.
- Pérez** G. M., F. Márquez S. y A. Peña L. 1997. Mejoramiento Genético de Hortalizas. Universidad Autónoma de Chapingo. México D.F.
- Pioneer**. Investigación de Pioneer para el desarrollo de híbridos resistentes a sequía. 2009. Boletín técnico Pioneer. Pioneer Argentina. S.R.L., Provincia de Buenos Aires, Argentina.
- Poehlman** J. M. y S. Allen. 2005. Mejoramiento Genético de las Cosechas. 2ª Edición. Limusa wiley. México D.F.
- Presello** D., Iglesias J., Fernández M., Botta G., Eyhéabide G. y Lorea R. 2008. Comportamiento de cultivares de maíz luego de la inoculación de hongos causantes de podredumbres de espiga. INTA. Estación Experimental Pergamino. Pergamino, Argentina.
- Reyes** C. P. 1985. Fitogenotécnia Básica y Aplicada. Primera edición. Editor A.G.T. México D.F.
- Roblero** P. D. U. 2003. Selección de líneas de un grupo exótico de maíz (*Zea mays L.*) mediante probadores e identificación y clasificación de híbridos. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo Coahuila, México.
- Robles** S. R. 1986. Genética Elemental y Fitomejoramiento Práctico. 1ª Edición. México D.F.

- Rodríguez M. R. y C. De León.** 2008. El Cultivo de Maíz. Temas Selectos. 1ª Edición. Colegio de Postgraduados. Mundi Prensa México. México D.F.
- Rodríguez S. J. y G. Iturriaga de la F.,** 2010. Tolerancia a la sequía en plantas de maíz. Publicación en Investigación y Desarrollo. CEIB-UAEM. México D.F.
- Rojas G. M.** 2003. La resistencia a la sequía. Ciencia UANL. Vol. VI, número 003, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. Pp. 326 – 331
- Salgado V. M. del C. y S. Miranda G. S.** 2009. Efectos de la sequía en la producción sembrada a nivel nacional en 2009. Revista Trimestral de Análisis de Coyuntura Económica. UAEM. México.
- Sámano G. D.** 2007. Caracterización genética de dos grupos germoplásmicos de maíz y comportamiento agronómico del patrón heterótico. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo Coahuila, México.
- Souza J.** 2008. Enfermedades del maíz en Entre Ríos. Grupo de Factores Bióticos y Protección Vegetal. Actualización Técnica. Maíz, Girasol y Sorgo. Serie Extensión N° 44. INTA EEA, Paraná, Argentina.
- Taboada S. M. y R. Oliver G.** 2009. La sequía intraestival, una manifestación de cambio climático en el estado de Morelos, México. Investigación agropecuaria. 2009. Volumen 6(1). P. 51-62.
- 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 8(1): 26-34.
- Valiente O. M.** 2001. Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. Investigaciones Geográficas (Esp), numero 026 Universidad de Alicante, Alicante, España pp. 59-80.
- Valladares F., A. Vilagrosa, J. Peñuelas, R. Ogaya, J. Camarero J., L. Corcuera, S. Sisó y G. Pelegrín E.** 2004. Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid, España.
- Velasco I., L. Ochoa. y C. Gutiérrez.** 2005. Sequía un problema de perspectiva y gestión. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos, México. Región y Sociedad/Vol. XVII/ NO. 34.

- Ventura** C. O. 2004. Evaluación bajo condiciones de laboratorio de genotipos de maíz (*Zea mays* L.) criollos de diferentes nichos ecológicos para resistencia al hongo *Fusarium moniliforme* (Sheld). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo Coahuila, México.
- Vergara** A. N., S.A. Rodríguez H., H.S. Córdoba O. 2005. Aptitud combinatoria general y específica de líneas de maíz (*Zea Mays*) tropical y subtropical. *Agronomía Mesoamericana* 16(2): 137-143.
- Vergara** N., S. Pandey, S. Kumar, D. McLean S. y S. Rodríguez. 1988. Comportamiento de híbridos de maíz y aptitud combinatoria de líneas con caracteres contrastantes. *Agronomía Mesoamericana* 9(2): 97-104.
- Zarco** P. E., V.A. González H., M.C. López P. y Y. Salinas M. 2005. Marcadores fisiológicos de la tolerancia a sequía en maíz (*Zea mays* L.) Publicado como Artículo en *Agrociencia* 39: 517-528.