

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



**Prueba de Vigor en Plántulas de Maíz para Tolerancia a Sequía y Resistencia al Patógeno de *Fusarium Spp.***

Por:

**PEDRO ANTONIO SÁNCHEZ VIDAL**

**TESIS**

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México.

Mayo, 2012

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**

**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

**Prueba de Vigor en Plántulas de Maíz para Tolerancia a Sequía y  
Resistencia al Patógeno de *Fusarium Spp.***

Por:

**PEDRO ANTONIO SÁNCHEZ VIDAL**

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

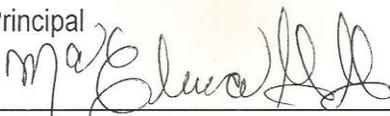
**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

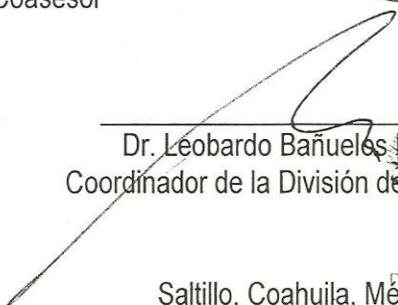
Aprobada

  
Dr. Humberto de León Castillo

Asesor Principal

  
Ing. Raúl Gandara Huitrón  
Coasesor

  
Q.F.B. Ma. Elena González Guajardo  
Coasesor

  
Dr. Leobardo Bañuelos Herrera  
Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación  
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México  
Mayo, 2012

## AGRADECIMIENTO

**A Dios** por haberme regalado la vida, por permitirme salir adelante a pesar de todos los obstáculos que se presentaron, por acompañarme siempre en los momentos más difíciles de mi vida y por permitirme terminar otra etapa más de mis estudios y cumplir uno más de mis sueños y el de mi familia.

**A mi muy querida U.A.A.A.N** Por darme la oportunidad de superarme, estando entre sus aulas, pasillos, áreas de prácticas y por contar con maestros interesados en nuestra formación profesional.

**Al Dr. Humberto de León Castillo** por la oportunidad de realizar la presente tesis, por su valioso tiempo que me brindo para la revisión y sugerencias tan importantes para llevar a un buen término esta valiosa investigación, por brindarme su amistad sincera, su apoyo moral y la confianza que siempre me demostró.

**Al M.C. Daniel Sámano Garduño** por su amistad, apoyo, consejos que me brindo para llevar a cabo este trabajo.

**A la Q.F.B. Ma. Elena González Guajardo** por su amistad brindada, por sus enseñanzas y consejos para poder llevar a cabo este trabajo.

**Al Ing. Raúl Gándara Huitrón** por su amistad, tiempo y colaboración en la revisión de este trabajo

**A mis compañeros Antolín López Jiménez e Irving Trujillo Sánchez** por brindarme sus amistad, por el tiempo, consejos y por orientarme para empezar y lograr a terminar este trabajo.

**A las encargadas del laboratorio** por el tiempo, apoyo que me brindaron con la preparación de las soluciones y por facilitarme los materiales necesarios para poder llevar a cabo este trabajo.

**A todos mis amigos y compañeros de generación** por sus amistades y consejos que me brindaron para lograr terminar este trabajo y sobre todo por compartir momentos de alegrías, tristezas y todas las cosas que vivimos desde que llegamos a la universidad recuerdos que siempre llevare guardado en mi mente y corazón.

**A los maestros** de la universidad por sus amistades, consejos, y enseñanzas transmitidas dentro de las aulas y con ellos he llegado a la culminación de mis estudios de licenciatura.

## DEDICATORIAS

**A DIOS** por prestarme la vida, por ser el autor de mi vida y el mejor amigo en este viaje increíble y por estar siempre conmigo en todo momento para darme fuerzas y poder salir de los problemas que se me presentaron manteniéndome siempre de pie hasta terminar mi preparación.

**A mis padres Javier Sánchez García y Herminda Vidal Vázquez** por todo el amor, apoyo, protección, confianza, atención, enseñanzas que me brindaron y siguen brindando en cada momento de mi vida y el sacrificio que ambos han hecho para poder lograr lo que hasta ahora he logrado en mi vida.

**A mi hermana Norma Lidia y mi Cuñado Joel** por sus consejos y apoyos que me brindaron siempre para poder salir adelante y terminar esta etapa de mi estudio tan importante para mi vida.

**A mis hermanos Rosa María, Martín, Ángela y Francisco Javier** por los momentos maravillosos que me hicieron pasar cada vez que los visitaba en las vacaciones.

**A mis sobrinos Mauricio y Teresita** por lo feliz que me hicieron cuando llegaron a este mundo y por los momentos felices que me hacen pasar cada vez que los veo caminar y sonreír.

**A mis tíos, primos y abuelitos** por los consejos que me dieron para salir adelante y el amor que me han brindado siempre. En especial a mi abuelito José Antonio que dios lo tenga en su santa gloria, por la confianza, por ser un amigo, por aconsejarme siempre, por todo el amor y cariño que siempre me regalo durante su vida.

**A mis amigos** por sus consejos, por quererme, por aceptarme tal y como soy, por cada momento de tristezas y alegrías que pasamos juntos, en especial a mis amigos que siempre me hicieron llegar sus mensajes en los momentos que más los necesitaba detalles que me dieron más fuerzas para poder salir adelante y terminar mi carrera profesional.

**A todas las personas** que siempre me aconsejaron, admiraron lo que había logrado estando lejos de mi familia para poder superarme en la vida y poder ayudar a mis padres.

## ÌNDICE DE CONTENIDO

---

	Pag.
<b>ÌNDICE DE CUADROS</b> .....	IX
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
OBJETIVOS .....	3
HIPÓTESIS .....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
Generalidades de Tolerancia a Sequía .....	4
Generalidades de <i>Fusarium Spp</i> .....	8
Heterosis.....	12
Híbrido.....	13
Hibridación .....	14
Líneas .....	15
Probador .....	16
Aptitud Combinatoria .....	17
Trabajos Realizados con el Diseño Línea por Probador .....	19
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	21
Localización donde se Realizó el Experimento .....	21
Material Genético .....	21
Prueba Temprana de Tolerancia a Sequía .....	23
Material y reactivos .....	23

Procedimiento del Trabajo Realizado .....	23
VARIABLES DE INTERÉS .....	24
Prueba Temprana de Resistencia a <i>Fusarium Spp.</i> .....	25
Procedimiento del Trabajo Realizado .....	28
Análisis de Datos.....	29
Análisis Genético.....	30
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>31</b>
Resultados para Tolerancia a Sequía.....	31
Resultados para Resistencia a <i>Fusarium</i> .....	39
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>45</b>
<b>VI. RESUMEN.....</b>	<b>46</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>48</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

---

	Pag.
<b>Cuadro 3.1</b> Cruzas resultantes de veinte líneas y cuatro probadores.....	22
<b>Cuadro 3.2</b> Genealogía de los probadores.....	22
<b>Cuadro 4.1</b> Cuadrados medios del análisis de varianza de 44 híbridos evaluados en sequía simulada a nivel de laboratorio durante el 2011.....	32
<b>Cuadro 4.2</b> ACG de líneas en las seis variables para la evaluación de tolerancia a sequía.....	33
<b>Cuadro 4.3</b> ACG de probadores en las seis variables en tolerancia a sequía.....	35
<b>Cuadro 4.4</b> ACE de híbridos para las seis variables para la evaluación de tolerancia a sequía.....	38
<b>Cuadro 4.5</b> Cuadrados medios del análisis de varianza de 44 híbridos para la evaluación de <i>Fusarium</i> simulada a nivel laboratorio 2011.....	39
<b>Cuadro 4.6</b> ACG de líneas en las seis variables para la evaluación resistencia a <i>Fusarium Spp</i> .....	41
<b>Cuadro 4.7</b> ACG de probadores en las seis variables en resistencia a <i>Fusarium Spp</i> .....	42
<b>Cuadro 4.8</b> ACE de híbridos para las seis variables en el experimento resistencia a <i>Fusarium</i> .....	44

## I. INTRODUCCIÓN

En México el cultivo del maíz se lleva a cabo fundamentalmente en la temporada de lluvias en el periodo primavera-verano, en donde las tierras de temporal no hay auxilio de agua de riego y frecuentemente se presentan periodos de sequía generalmente en la canícula, durante las dos primeras semanas del mes de agosto. Esto conduce a reducciones en los rendimientos hasta llegar a producciones nulas del grano (Márquez *et al.*, 2009).

La sequía agrícola, se relaciona con la insuficiencia natural del agua en el perfil del suelo, de tal manera, que las plantas no obtienen la suficiente, para satisfacer sus requerimientos hídricos y está muy ligada con la duración del desarrollo fenológico de los cultivos; una sequía temprana, afecta principalmente el periodo de siembra, retardándola; una sequía después de la siembra, puede disminuir drásticamente la densidad del cultivo y su rendimiento y puede significar pérdida total de ese ciclo (Conaza, 2010).

Además del fenómeno de sequía que produce bajos rendimientos y problemas en las plantas, afectando económicamente a los productores, los desastres ocasionados por *Fusarium* también es otro de los factores de gran importancia por los daños que ocasiona en la producción del cultivo de maíz.

*Fusarium* es una enfermedad muy común que ocasiona pudrición en las mazorcas, tallos y raíces de los cultivos. El patógeno inverna en los residuos de maíz y produce esporas en el próximo ciclo. La infección ocurre a través de las raíces y progresa hacia el tallo cuando hay condiciones de estrés (Pioneer, 2009). *Fusarium moniliforme* es muy común en climas secos y cálidos. Es particularmente perjudicial si comienza antes de la floración, en cambio *Gibberella* es más común en regiones frías. Es uno de los agentes causantes de pudrición del tallo más perjudiciales (CIMMYT, 2004).

Por otro lado Figueroa *et al.*, (2010) aseguran que para la obtención de materiales de maíz con resistencia genética amplia y durable a *Fusarium Spp.* es necesario conocer la diversidad de especies presentes en la región de interés, para la cual se pretende desarrollar este tipo de materiales.

La enfermedad causada por *Fusarium* y el fenómeno de Sequía son dos factores de gran importancia que reducen los rendimientos del cultivo de maíz, ocasionando grandes pérdidas a los productores. Por esta problemática la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por medio del Instituto Mexicano de Maíz (I.M.M) “Dr. Mario E. Castro Gil” se han venido realizando investigaciones en campo y a nivel de laboratorio con la finalidad de obtener excelentes materiales tolerantes y resistentes a dichos factores a través del mejoramiento genético.

En lo atención a lo anterior, se originó el presente trabajo de investigación que comprende de 44 cruzas de prueba entre 17 líneas y 4 probadores. Las cruzas fueron sometidas a prueba de vigor en laboratorio para evaluar la tolerancia de sequía y resistencia a la enfermedad de *Fusarium*, este trabajo se realizó bajo simulación de sequía haciendo uso de secuestradores de humedad (manitol) y mediante el uso de filtrado toxico de la enfermedad de *Fusarium Spp.* en etapas tempranas. Buscando los siguientes:

## OBJETIVOS

- Comparar el comportamiento de los híbridos originados por las cruzas de 17 líneas con cuatro probadores bajo presencia simulada de sequía y *Fusarium*.
- Comparar el vigor de cada probador y cada línea para *Fusarium* y Sequía.
- Compara la aptitud combinatoria de las líneas y los probadores para esas mismas variables.

## HIPÓTESIS

- ❖ De las líneas y probadores evaluados al menos uno será superior en cuanto al vigor de crecimiento para *Fusarium* y sequía.
- ❖ De los híbridos experimentales evaluados al menos uno se comportará superior que los demás para *Fusarium* y sequía.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### Generalidades de Tolerancia a Sequía

El agua es vital en la producción de cultivos ya que el crecimiento de las células vegetales se produce por acción del agua. La falta de este elemento provoca una menor área foliar, menor fotosíntesis y como consecuencia una menor producción. La solución a los problemas ocasionados por la escasez de agua requiere comprender y poder estimar el almacenamiento y movimiento de agua en el suelo, su absorción y movimiento en la planta y su pérdida por evaporación y transpiración (Silva *et al.*, 2000).

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. La tolerancia debe incluir la habilidad de las semillas de germinar en condiciones limitadas de disponibilidad de agua González *et al.*, (2005). Los mismos autores señalan que a medida que aumenta el estrés de sequía, se afectan la germinación y el crecimiento de las plántulas.

Avendaño *et al.*, (2008) y Bravo *et al.*, (2006) mencionan que los efectos de la sequía en maíz, cuando ocurre en etapas tempranas del desarrollo reproductivo afecta el periodo de siembra, mientras que en etapas avanzadas, puede disminuir drásticamente la densidad de los cultivos y su rendimiento, debido principalmente a la absorción del ovario o esterilidad del polen.

Méndez *et al.*, (2010) mencionan que el uso de sustancias osmóticas como sacarosa, inositol, cloruro de sodio, manitol, polietileno glicol, etc. Para evaluar la tolerancia o resistencia al estrés hídrico representa una forma de avanzar rápidamente en programas de mejoramiento genético de cualquier cultivo a este estrés. Estos mismos autores aseguran que la emergencia de la semilla en una solución de manitol puede revelar tolerancia al estrés osmótico en semillas y plántulas, lo cual puede ser un excelente medio para evaluar genotipos de maíz ante el estrés hídrico.

Por otro lado Madueño *et al.*, (2006) mencionan que la emergencia de la semilla en una solución de manitol puede revelar tolerancia al estrés osmótico en semillas y plántulas, sin embargo, una correlación con el rendimiento podría ser una coincidencia, a menos que se coloque éste como un factor en las pruebas realizadas en plantas adultas (campo).

Moreno (2009) afirma que el déficit hídrico no solo ocurre cuando hay poca agua en el ambiente, sino también por bajas temperaturas y por una elevada salinidad del suelo. Las plantas que son capaces de adquirir más agua o que hacen un uso más eficiente, podrán tener resistencia al estrés por sequía.

Bravo *et al.*, (2006) mencionan que la sequía agrícola es de carácter estacional y se relaciona con la duración del desarrollo fenológico de los cultivos. Los mismos autores aseguran que la sequía se caracteriza por insuficiente humedad en el suelo, reduciendo o incapacitando el desarrollo vegetativo. Teruel *et al.*, (2008) mencionan que la falta de humedad durante o después de la siembra afecta la germinación y el crecimiento inicial, reduciendo la densidad de plantas y los rendimientos.

Las condiciones limitadas de agua inducen en las plantas respuestas que afectan su morfología, fisiología y metabolismo. Así, por ejemplo, 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, en tanto que la parte aérea la disminuye). También menciona que una de las respuestas mejor caracterizadas ante la limitación de agua es el cierre, parcial o total, de los estomas, lo cual evita que la planta se deshidrate (Covarrubias, 2007).

Méndez (2010) menciona que una reducción de la biomasa fresca de la plántula en función de la restricción hídrica puede ser atribuida a una menor velocidad de los procesos fisiológicos y bioquímicos o por la dificultad de la hidrólisis y movilización de las reservas desde las semillas.

Tiessen (2009) menciona que el estrés hídrico es más significativo en una planta que en otra, dependiendo de dónde se produce dicho estrés. No solamente las plantas, que dejan caer las yemas florales, las flores e incluso los frutos pequeños sin madurar, sino las semillas iniciales pueden morir con gran facilidad por falta de agua. El maíz, puede manifestar una pérdida de grano en la mazorca si no se aplica la cantidad adecuada de agua durante la polinización. Las hojas se decoloran y pueden llegar a marchitarse o retorcerse.

El estrés hídrico es el más importante, que puede afectar a las plantas, y especialmente, los cultivos en cuanto a la cantidad de materia vegetal afectada. Las pérdidas agrícolas ocasionadas por el estrés hídrico son superiores al conjunto de las producidas por los otros tipos de estrés, entre los que están el frío, el calor, la irradiación luminosa excesiva o insuficiente, la anaerobiosis por inundación y encharcamiento (Layne *et al.*, 2008).

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. La tolerancia a estrés por sequía es el reto más importante para maíces de alto rendimiento. Esto se debe a las deficiencias hídricas temporales que reducen los rendimientos del maíz (Pioneer, 2009).

La identificación de caracteres, que permitan seleccionar materiales potencialmente tolerantes al estrés hídrico, en etapas tempranas del desarrollo de un cultivo, es un aspecto importante que puede ayudar al proceso de mejoramiento en la identificación temprana de características que indiquen si un determinado genotipo es potencialmente tolerante. Esto puede brindar una alternativa a intentar caracterizar a un genotipo como tolerante basado en pruebas en ambientes controlados seguido por su evaluación a campo (Biasutti *et al.*, 2001).

Márquez *et al.*, (2009) mencionan que la resistencia a sequía en la producción de maíz está regida por fenómenos hereditarios, del medio ambiente y de la interacción genético-ambiente. Por otra parte Rincón *et al.*, (2008) mencionan que para desarrollar genotipos de maíz tolerantes a estrés hídrico, se debe tomar en cuenta el germoplasma a utilizar, la metodología de mejoramiento genético, el ambiente en el que se hará la selección y el criterio de selección.

## **Generalidades de *Fusarium Spp.***

Gallardo *et al.*, (2006) mencionan que el género *Fusarium*, comprende un complejo número de especies, que son productores de micotoxinas y están distribuidos en el medio ambiente y son contaminantes frecuentes de los alimentos, especialmente los de origen vegetal. Entre los hongos toxigenicos de mayor importancia se encuentra el género *Fusarium*. Los mismos autores mencionan que el *F. verticillioides* es endémico del maíz causando en la planta pudrición de tallo, raíz y mazorca. Así mismo, se caracteriza por producir diversos tipos de micotoxinas.

El principal agente patógeno causante de la podredumbre de la mazorca de maíz es *Fusarium verticillioides* se inicia con la formación de micelios blancos, que van descendiendo desde la punta de la mazorca y dan una coloración rojiza a rosada a los granos infectados. Ataca en todos los estados de crecimiento de la planta de maíz y a diferentes partes de la misma induciendo enfermedades de postcosecha que causan reducción de rendimientos y afectan la calidad de la semilla Peiretti *et al.*, (2007). Su ataque se facilita, principalmente en las partes dañadas por insectos, aves o granizo (SENASA, 2011).

Carmona *et al.*, (2011) afirman que la mayoría de los patógenos de semilla del maíz son los mismos que causan las pudriciones de raíz y tallo y las pudriciones de la espiga del maíz y los que generan micotoxinas en granos y semillas. Por lo tanto mencionan que proteger al maíz desde la semilla favorecería la protección, y el manejo de estos dos complejos graves que tiene el cultivo. El *F. verticillioides* puede infectar a la planta de maíz a través de inóculo en el ambiente (suelo, restos vegetales, aire) y también a través de semillas contaminadas.

En zonas húmedas, las pudriciones de mazorca son importantes, particularmente cuando la precipitación pluvial es mayor que la normal desde la época de la floración hasta la cosecha; en algunas regiones se han registrado daños severos causados por esas enfermedades. Entre las pudriciones de mazorca más relevantes inducidas por *Fusarium* que además de reducir el rendimiento causa disminución y mala calidad de los granos (García *et al.*, 2010).

*F. moniliforme*, es capaz de colonizar durante todo el ciclo vegetativo de la planta incluyendo las siguientes partes: raíz, tallo, mazorca y semillas. La infección de mazorcas por este hongo, es importante debido al potencial tóxico de sus metabolitos secundarios, las fumonisinas; sustancias carcinogénicas secretadas por el hongo en los granos de las mazorcas afectadas Mendoza *et al.*, (2006). Los síntomas producidos por estos patógenos no se pueden distinguir hasta que son visibles las estructuras que producen las esporas (CIMMYT, 2004).

Las semillas son importantes fuentes de inóculo de innumerables patógenos, entre ellos de varias especies de *Fusarium*. Para el cultivo de maíz, las especies de *Fusarium* más importantes en semilla son *F. verticillioides*, *F. proliferatum*, *F. subglutinans* (los 3 denominados previamente como *F. moniliforme*), *F. graminearum*, *F. sporotrichioides*, *F. oxysporum*, *F. solani* y *F. equiseti*. De todos ellos *F. verticillioides* y *F. graminearum* son los más frecuentes. La incidencia de *F. verticillioides*, es alta (mayor al 20 por ciento y hasta 100 por ciento), en cambio la incidencia de *F. graminearum* es baja (Carmona *et al.*, 2011).

*Fusarium verticillioides* es el agente causal de la pudrición de la mazorca en la mayoría de zonas maiceras del sur de Europa Lanubile *et al.*, (2011). Las mazorcas infectadas no muestran evidencia externa de la enfermedad; sin embargo, en el interior se observa el moho entre los granos y parte o toda la mazorca puede estar podrida. El control de los agentes causales de la pudrición de la mazorca se pueden efectuar mediante prácticas agronómicas y el uso de variedades resistentes; cualquiera de ellas, para que sea eficaz, debe alterar o interrumpir el ciclo biológico del patógeno (Betanzos *et al.*, 2009).

Madriz (2002) afirma que los patógenos son responsables gran parte de la disminución en la producción agrícola y su combate se realiza básicamente mediante métodos químicos. Sin embargo, las plantas también son capaces de reaccionar y defenderse por sí solas, utilizando una serie de mecanismos naturales. Las interacciones planta-patógeno pueden presentar varios tipos de asociaciones, que dependen en gran parte del contenido genético de cada organismo.

Los hongos microscópicos causan problemas a los agricultores desde épocas muy remotas, invaden las plantas en el campo y ocasionan severas enfermedades y pérdidas de rendimiento, atacan los productos almacenados después de la cosecha y producen pérdidas adicionales, con deterioro de la calidad nutricional, etc. Algunas especies de hongos pueden producir sustancias de alta potencia tóxica, las micotoxinas, que contaminan los alimentos y ponen en peligro la salud de la población humana o animal (Godoy, 2006).

Mendoza *et al.*, (2006) mencionan que las líneas puras difieren en su resistencia a esta enfermedad. Las líneas puras susceptibles presentan “estigmas cortados” o granos reventados. Tales líneas transmiten tegumentos débiles de la semilla a sus híbridos y tienden a ser susceptibles a la pudrición del grano por *Fusarium* lo que el mejor método de control es el uso de híbridos.

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*, el cual tiene una distribución cosmopolita y afecta la calidad del grano y tallos de plantas afectadas. Además, es una amenaza para la salud del hombre y los animales por la producción de toxinas cancerígenas (Mendoza *et al.*, 2003).

Lanubile *et al.*, (2011) mencionan que la interacción molecular entre el hongo y la planta no es bien conocido, y actualmente hay poca información disponible sobre la respuesta de defensa del maíz frente a la infección por *F.verticillioides*.

Por otra parte Madriz (2002) afirma que las interacciones entre una planta y un microorganismo pueden mostrar varios tipos de relaciones que van desde las altamente perjudiciales para el hospedante, hasta aquellas que benefician tanto al hospedante como al microorganismo.

Las condiciones de sequía, a principios de la estación, el clima caluroso y húmedo después del espiga miento favorecen el desarrollo de la podredumbre del tallo. También favorecen a la enfermedad, los altos contenidos de nitrógeno en el suelo y el bajo contenido de potasio, la gran densidad de plantas, la pérdida de área foliar, el daño por insectos o granizo y la siembra de semillas infectadas (SENASA, 2011).

## **Heterosis**

Gutiérrez *et al.*, (2002) describen que la heterosis es el fenómeno en el que la F1, resultante del cruzamiento entre dos genotipos, es superior en crecimiento, tamaño, rendimiento y vigor.

Preciado *et al.*, (2005) mencionan que el establecimiento de los patrones heteróticos entre variedades es un factor clave en todos los programas de mejoramiento de maíz para seleccionar líneas endogámicas progenitoras de híbridos de alto potencial de rendimiento. Por otro lado Escorcía *et al.*, (2010) afirman que la heterosis es la base del mejoramiento genético por hibridación.

Ramírez (2006) el vigor híbrido o heterosis, lo define como la superioridad del híbrido producto de cruzar líneas consanguíneas entre sí. Para explotar la heterosis lo más eficazmente posible, se seleccionan individuos, líneas o clones que muestran mejor aptitud combinatoria, dando lugar a la producción de variedades híbridas, sintéticas, etc.

Por otro lado Ramírez *et al.*, (2007) definen heterosis como un fenómeno que se presenta en la mayoría de especies alógamas como el maíz, donde los híbridos superan a sus progenitores en uno o más caracteres entre los que sobresale el rendimiento de grano.

Tiessen (2009) menciona que la heterosis es uno de los fenómenos más importantes para la agricultura. Que todavía no se entiende del todo. Existen varias teorías que tratan de explicar la heterosis, pero hasta ahora, ninguna puede explicar satisfactoriamente todas las observaciones.

Gaytán (2010) la heterosis lo define como un Fenómeno que ocurre cuando el híbrido supera sus progenitores en características fenológicas de crecimiento y rendimiento, esto resulta de la interacción de varios factores que participan en la formación de dicho híbrido.

## **Híbrido**

Para generar híbridos con alto potencial productivo y de amplia adaptabilidad a los diferentes ambientes es necesario un buen programa de mejoramiento con objetivos precisos y un manejo agronómico adecuado que permita expresar el potencial genético del material (López, 2004).

Salazar (2006) define un híbrido como el resultado de la cruce de dos progenitores con cualquier estructura genética, estos pueden ser variedades de polinización libre, variedades sintéticas, familias y líneas parcial y totalmente endogámica.

Por otro lado Ramírez *et al.*, (2007) mencionan que la formación de híbridos tienen como objeto final acumular al máximo la heterosis entre los progenitores seleccionados.

Gaytán *et al.*, (2010) mencionan que para desarrollo de híbridos de maíz con altos rendimientos de grano requiere identificar progenitores que produzcan los mejores híbridos potenciales.

Escorcía *et al.*, (2010) mencionan que en los Estados Unidos de América se usan híbridos de cruce simple en la producción comercial de maíz porque se dispone de líneas autofecundadas con alto potencial de rendimiento; este tipo de líneas aún no está disponible en México, donde se siembran híbridos trilineales.

## **Hibridación**

Salazar (2006) menciona que la hibridación del maíz es considerada un método genético que tiene como objetivo principal el aprovechamiento de la generación F<sub>1</sub> (híbrido F<sub>1</sub>) que es el resultado de la cruce de dos progenitores con cualquier estructura genética, estos pueden ser variedades de polinización libre, variedades sintéticas, familias y líneas parcial y totalmente endogámica.

Lobato *et al.*, (2010) aseguran que la hibridación está basada en el desarrollo de líneas endogámicas y la evaluación de su aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) para obtener híbridos comerciales de alto rendimiento.

Por otra parte Guerrero *et al.*, (2011) confirman que el mejoramiento genético por hibridación tendrá éxito si las dos o al menos una de las líneas de un híbrido son de alta ACG, condición que por sí misma asegura un alto rendimiento. Si adicionalmente el híbrido presenta un efecto positivo alto de ACE, su capacidad de rendimiento aumentará. En cambio, si las líneas son de baja ACG y su efecto de ACE es bajo, el rendimiento de la cruce será bajo (Reyes *et al.*, 2004).

## Líneas

Rex (2000) describe que las líneas puras suelen ser desarrollados dentro de un grupo heteróticos. Sin embargo, los productores utilizan a veces híbridos comerciales como no convencionales (es decir, grupo, inter-heterótico) fuente de líneas puras nuevas.

Antuna *et al.*, (2003) mencionan que el desarrollo de líneas y la identificación de las mejores combinaciones híbridas con base al potencial de rendimiento determinan el éxito de un programa de mejoramiento genético.

Preciado *et al.*, (2005) confirman que las líneas derivadas de fuentes con patrones heteróticos definidos tienden a complementarse una con otra maximizando la respuesta heterótica del híbrido.

Línea pura, consanguínea u homocigótica se obtiene a partir de una población alógama por autofecundación impuesta durante varias generaciones, hasta que el grado de homocigosis alcanzado sea tal que no se aprecie segregación en nuevas autofecundaciones. Lo que se pretende con el cruzamiento de líneas consanguíneas es obtener híbridos superiores a la población original (Ramírez, 2006).

Bolaño *et al.*, (2008) mencionan que la evaluación de líneas endocriadas en un programa de maíces híbridos requiere no sólo determinar la producción *per se* de las mismas, sino también el comportamiento promedio de sus combinaciones híbridas (Aptitud Combinatoria General) y la capacidad de producir combinaciones híbridas superiores al cruzarse entre sí (Aptitud Combinatoria Específica).

González *et al.*, (2009) menciona que el conocimiento de la diversidad genética y el grado de relación entre los materiales es indispensable para el desarrollo de nuevas líneas endogámicas, asignación de líneas o grupos heteróticos y la realización de ensayos de prueba para las combinaciones híbridas.

### **Probador**

Mendoza *et al.*, (2000) afirman que con el uso de diferentes probadores se obtiene la máxima información, logrando seleccionar el germoplasma destacado e híbridos comerciales a corto plazo.

Hernández (2003) menciona que un probador es cualquier material genético (línea, variedad, híbrido, etc.) que permite medir la aptitud combinatoria de un grupo de líneas autofecundadas con el cual se cruza. Cuando el probador usado es un material de amplia base genética (poblaciones heterocigotos, sintéticos y cruza dobles) se le conoce como mestizos (top-crosses); en cambio sí se usa un material de reducida base genética (línea o cruza simple), se le conoce como cruza de prueba (test-crosses). El probador tendrá una amplia base genética, es decir, tiene que ser una población que produzca gametos con diversos genotipos.

Por otro lado Sahagún (2003) confirma que un buen probador debe permitir la selección de líneas de mayor aptitud combinatoria que, en consecuencia, al recombinarse deben producir híbridos superiores.

Vivek *et al.*, (2008) aseguran que un probador puede ser una línea pura o un híbrido simple. Un buen probador debe facilitar la discriminación entre genotipos con base en la aptitud combinatoria y otras características deseadas. El mismo autor describe que un probador de un programa genético suele ser una línea élite o una cruce simple entre líneas élite del mismo grupo heterótico.

De la cruz *et al.*, (2008) mencionan que la elección de probadores apropiados es un tema complejo en el mejoramiento genético de cultivos debido al tipo de herencia de los caracteres en estudio y a las interacciones entre genotipos y ambientes. En los sistemas de incompatibilidad se busca que los probadores involucrados clasifiquen y discriminen correctamente el comportamiento de cualquier tipo de material, como líneas homogéneas, híbridos, poblaciones heterogéneas y especies silvestres; todo esto, aún sin conocer el origen y pedigrí del material.

Lobato *et al.*, (2010) mencionan que en un programa de mejoramiento genético por hibridación de maíz es importante disponer de un probador confiable y eficiente de aptitud combinatoria general (ACG) de las líneas autofecundadas. Con el propósito de aportar más evidencia experimental relativa a la identificación del mejor probador de la ACG de las líneas.

### **Aptitud Combinatoria**

Gutiérrez *et al.*, (2002) describen que la Aptitud combinatoria general ACG es el término que emplearon para designar al comportamiento promedio de una línea en combinaciones híbridas, a través de sus cruzamientos en conjunto de líneas diferentes, y el de aptitud combinatoria específica ACE lo emplearon para

designar a la desviación que presenta la progenie de una cruce específica con respecto al promedio de sus progenies.

De la cruz *et al.*, (2003) describen que la aptitud combinatoria debe determinarse no solo en un individuo de la población si no en varios, a fin de poder seleccionar aquellos que exhiban la más alta aptitud combinatoria. También mencionan que Sprague y Tatum en (1942) establecieron los conceptos de ACG Y ACE; donde el primero designa el comportamiento promedio de una línea a través de sus cruzamientos con un conjunto de líneas diferentes, y el segundo, designa la desviación que presenta la progenie de una cruce con respecto al promedio de la ACG de sus progenitores.

Guillen *et al.*, (2009) afirman que la evaluación de la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) mediante cruzamientos dialélicos ha sido eficiente para la clasificación de progenitores por lo que se considera eficaz para identificar fuentes de germoplasma útiles en programas de mejoramiento genético de maíz. Mediante la aptitud combinatoria de los progenitores, el mejorador logra mayor eficiencia en la selección progenitores con un comportamiento promedio aceptable en una serie de cruzamientos e identificar combinaciones específicas con un comportamiento superior a lo esperado.

Guerrero *et al.*, (2011); Antuna *et al.*, (2003) y Morata *et al.*, (2006) confirman lo anterior que los efectos de ACG están relacionados con los genes aditivos de los progenitores, mientras que la ACE con los de dominancia y los epistáticos de las cruces, confirmando e indicando la contribución genética diferencial en la expresión fenotípico, por lo que el desarrollo de líneas y la identificación de las mejores combinaciones híbridas con base en el potencial de rendimiento.

## Trabajos Realizados con el Diseño Línea por Probador

Mendoza *et al.*, (2000) estudiaron el comportamiento de un grupo de líneas considerando su aptitud combinatoria, para determinar los mejores híbridos triples y medir la heterosis útil. Evaluaron 23 líneas con dos probadores uno de cruza simple y otro de la variedad “Antonio Narro” (VAN 555), el experimento se evaluó en dos localidades. Se utilizó un diseño bloques al azar con arreglo factorial, tomando como factor A las líneas y factor B los probadores. Donde las respuestas promedio de líneas, probadores y línea x probador resultó estadísticamente diferente para las variables días a floración, altura de planta, prolificidad y rendimiento.

Montenegro *et al.*, (2002) evaluaron el comportamiento de 57 accesiones de maíz a través de cruza de prueba usando dos poblaciones y dos líneas endogámicas como probadores, con el propósito de identificar su potencial genético. Por otra parte Peña *et al.*, (2004) evaluaron bajo riego 9 líneas  $S_2$  de una población precoz cruzadas con el probador de Valles Altos BTVC x BTRL, y 15 líneas cruzadas con el probador subtropical CML78 x CML322, más un testigo.

Malacarne *et al.*, (2003) estimaron la aptitud combinatoria general y específica de 42 líneas élite con niveles de endogamia  $S_4$ - $S_{14}$  provenientes del Centro de Investigación de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), cruzadas con tres probadores del Instituto de Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Los datos registrados fueron floración femenina (FF), altura de planta (AP), acame de tallo (AT) y rendimiento en grano (RG).

Vergara *et al.*, (2005) estimaron la aptitud combinatoria, general y específica de veinte líneas tropical y subtropical provenientes de Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), las cuales fueron cruzadas con seis probadores provenientes de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Las estimaciones de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) fueron obtenidas usando el análisis de Línea x Probador.

Lobato *et al.*, (2010) evaluaron 50 líneas  $S_1$  (variedad original), nueve líneas  $S_3$  de la cuales cuatro fueron de Aptitud Combinatoria General (ACG) alta y cinco de Aptitud Combinatoria General (ACG) baja y como probadores utilizaron una línea de Aptitud Combinatoria General baja, una de Aptitud Combinatoria General alta y una línea de la variedad original. Donde determinaron que el mejor probador fue la línea de baja ACG en comparación con la línea de alta ACG y la variedad original.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **Localización donde se Realizó el Experimento**

La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Cultivos de Tejidos vegetales “in vitro” del Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, localizada en Buenavista Saltillo Coahuila, México.

#### **Material Genético**

El material genético utilizado en el presente trabajo de investigación estuvo constituido por 44 genotipos, derivados del cruzamiento de 17 líneas endogámicas y 4 probadores propiedad del Instituto Mexicano de Maíz, “Dr. Mario E. Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. La información de estos cruzamientos se concentra en el cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1.** Cruzas obtenidas de diecisiete líneas y cuatro probadores.

N°	LINEAS	PROBADOR				N° de cruzamientos de las líneas
		4904	4907	4910	4921	
1	919	1		25	35	3
2	1501	2	10			2
3	1614	3	12			2
4	1624	4	14	28		3
5	1713	5		31	39	3
6	1920	6	17	32	40	4
7	2306	7	21		44	3
8	2421	8	22			2
9	2814	9	23	33		3
10	1604		11	26		2
11	1620		13	27	36	3
12	1707		15	29	37	3
13	1708		16	30	38	3
14	2115		18		41	2
15	2207		19		42	2
16	2225		20		43	2
17	2911		24	34		2

**Cuadro 3.2.** Genealogía de los probadores

PROBADOR	GENEALOGIA	CRUZAS
1) 4904	43-46-2-3-2	SIMPLES
2) 4910	LBCPC454 X PE-115-3	SIMPLES
3) 4907	ML54-1 X PE-115-3	SIMPLES
4) 4921	232-10-11 X ML54-1	LINEA

## **Prueba Temprana de Tolerancia a Sequía**

El Instituto de Mexicano de Maíz (I.M.M) ha desarrollado la técnica siembra en papel germinador (en forma de taco) utilizando secuestradores de humedad (con manitol -5 bares) para simular sequía descrita por González, (2002).

El uso de manitol reactivo de alto peso molecular, actúa como secuestrador de agua impidiendo la disponibilidad de humedad a los materiales genéticos utilizados en este experimento y de esa forma simulando las condiciones del estrés hídrico, se evaluaron 44 genotipos en base a la tolerancia de sequía, a nivel laboratorio.

### **Material y reactivos**

Papel germinador o secante, cinta adhesiva, semillas de maíz, lápiz de color especiales para papel húmedo, tijeras, charolas de aluminio, cinta doble cara, vasos precipitados, probetas, matraces, colador, agua destilada, sobres de papel, cloruro de sodio, papel aluminio, reglas, lápiz, bolsas de polietileno, balanza analítica, incubadora, destilador y estufa de secado (60 °C).

### **Procedimiento del Trabajo Realizado**

**Desinfección de semillas.** Se toman 15 semillas al azar y se desinfectan con cloruro de sodio al cinco por ciento que vienen siendo 5 ml de cloruro de sodio y 100 ml de agua, se introduce en vasos precipitados las 15 semillas por 5 minutos en seguida se enjuagan con agua destilada y posteriormente se deja sobre papel para que se sequen.

**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.

**Siembra.** Se colocan las 15 semillas desinfectadas sobre la cinta adhesiva bien distribuidas, con los embriones hacia el lado inferior de la hoja, posteriormente se sumergió a saturación en la solución de manitol a una concentración de – 5 bares en una charola de aluminio, luego se enrolló en forma de taco. Posteriormente cada taco se identificó y se colocó en bolsas de polietileno para meterlas en una sostenedor de metal y se llevó a la cámara de germinación con luz y temperatura de 25 a 28 °C.

**Riegos.** Se realizó cada 3<sup>er</sup> día (72 horas) sumergiendo el taco sembrado a saturación en agua destilada, el último riego se realiza en forma de aspersion para evitar el daño de las plántulas.

**Toma de datos.** Las variables fueron tomadas a los diez días después de la siembra como son: longitud de plúmula, longitud de raíz, peso fresco de plúmula y peso fresco de raíz, las muestras se metieron en sobres de papel y se introdujo a la estufa de secado. Donde permaneció por tres días, para obtener el peso seco de plúmula y raíz.

### **Variables de Interés**

**Longitud de plúmula (L.p):** se tomó a partir del cuello de la raíz hasta el último extremo de la plántula (punta de la hoja).

**Longitud de raíz (L.r):** se obtuvo midiendo la raíz principal de la plántula.

**Peso fresco de plúmula (P.f.p):** se consideró como la materia fresca del tallo y las hojas de la plántula.

**Peso fresco de raíz (P.f.r):** se consideró como la materia fresca de la raíz principal y las raíces primarias de la plántula.

**Peso seco de plúmula (P.s.p):** se consideró la materia seca acumulada por el tallo y las hojas de la plántula.

**Peso seco de raíz (P.s.r):** se consideró como la materia seca acumulada por la raíz principal y las raíces primarias de las plántulas.

### **Prueba Temprana de 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 50 por ciento y semilla de maíz, el procedimiento lo describe González (2002).

**1.- Recolección en campo de material enfermo:** se efectuaron muestreos de plantas infestadas por *Fusarium* mostrando síntomas como: podredumbre de tallo, raíz, mazorca o necrosis (coloración rosa violácea oscura o necrótica) secado de tallo, grano, etc.

**2.- Preparación de medio para aislamiento de patógeno:** se pesaron 39 g. De PDA, se colocaron en un matraz Erlenmeyer y se afora a un litro de agua destilada, se le agrega una barrita magnética y se coloca en una parrilla electromagnética para su totalidad homogenización y posterior a esterilización.

**3.- Aislamiento del hongo en laboratorio:** se realizaron cortes pequeños de la planta enferma, se lavó con una solución jabonosa al 4 por ciento y se enjuago con agua destilada. Posteriormente se procede a la esterilización de dicho material lo cual se efectúa en un área estéril utilizando una campana de flujo laminar lo cual funciona a base de luz ultravioleta y filtro de aire para crear un área de total asepsia. Se lavan los trozos de la planta enferma con hipoclorito de sodio al 5 por ciento y se enjuaga en agua destilada y esterilizada para después proceder a su siembra en cajas Petri conteniendo el medio PDA estéril.

**4.- Siembra de material enfermo:** el medio que se utiliza para aislar el patógeno es el PDA (papa dextrosa, agar) para lo cual se utiliza 39 g. De PDA los cuales son colocados en un matraz Erlenmeyer al cual se le añadió 1000 ml de agua destilada, se colocó el matraz en una parrilla electromagnética para su total homogenización.

El medio se esterilizo por medio de alta presión en un autoclave a una presión de 15 lb. /pulg<sup>2</sup> 20' a 120 °C por separado se esterilizaron las cajas Petri necesarias para efectuar su llenado de PDA dentro de la campana de flujo laminar. Una vez que se solidifico el medio se procedió a la siembra del material vegetativo enfermo.

**5.- Conservación del patógeno:** para la conservación del hongo una vez desarrollado se le agrega aceite mineral (esterilizado 3 veces) todo en condiciones de asepsia y se procede a refrigerarse para su posterior utilización.

**6.- Preparación de medio para obtención de filtrado tóxico PDS (papa-dextrosa-sacarosa):** se utilizó 200 g. de papa natural, la cual se cortó en trozos pequeños y se colocaron en vasos precipitados al cual se le añadió 1000 ml de agua destilada. El vaso se colocó en una parrilla eléctrica a temperatura de ebullición. Al momento que empezó a hervir se contó 30 minutos y se le añadió agua para que se evaporara. Al transcurrir los 30 minutos se filtró con una

manta de cielo. El filtrado se aforo a 3000 ml y se colocó a un matraz Erlenmeyer de 4000 ml el cual contenía 30 g. de sacarosa y 20 g. de dextrosa agar y una barrita magnética. También se le agrego una torunda de algodón en el matraz, se cubrió la boca del matraz con papel aluminio y se sella perfectamente con cinta adhesiva para la esterilización en la autoclave.

**7.- Inoculación de medio PDS (papa-dextrosa):** una vez que se enfrió el medio se inoculo con pequeños trozos de micelio aproximadamente 6 trozos de 1 cm<sup>2</sup> las cuales fueron en perfectas condiciones.

**8.- Agitación de PDS inoculado:** una vez que se inoculo el PDS se cubrió el matraz con papel para poder lograr la obscuridad y se colocó a la parrilla electromagnética y se mantuvo agitándose por 15 días, después de los 15 días de agitación se filtró el PDS inoculado por medio de una bomba de vacío, embudo buchner, matraz kitasato y papel filtro núm. 1. Una vez que se obtuvo el filtrado se colocó en matraces de 500 ml y se cubrió la boca de los matraces con papel aluminio y se selló con cinta adhesiva para evitar la contaminación y se esterilizo en la autoclave.

**9.- Pausterilizacion:** una vez que se esterilizo el filtrado tóxico se sacó del autoclave y se sometió a refrigeración en la cual ya quedaba listo para la utilización y poderla emplear en el experimento que se estaba trabajando.

**Material y reactivos:** papel germinador o secante, cinta adhesiva, semillas de maíz, lápiz de color especiales para papel húmedo, tijeras, charolas de aluminio, cinta doble cara, vasos precipitados, probetas, matraces, colador, agua destilada, sobres de papel, cloruro de sodio, papel aluminio, mecheros, reglas, lápiz y bolsas de polietileno.

**Equipos utilizados:** balanza analítica, incubadora, destilador, cámara de siembra, estufa de secado (60 °C).

## **Procedimiento del Trabajo Realizado**

**Desinfección de semillas.** Se toman 15 semillas al azar y se desinfectan con cloruro de sodio al cinco por ciento que vienen siendo 5 ml de cloruro de sodio y 100 ml de agua en vasos precipitados en la cual se somete las 15 semillas por 5 minutos en seguida se enjuagan con agua destilada y posteriormente se deja sobre papel para que se sequen.

**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.

**Siembra.** Se colocan las 15 semillas desinfectadas sobre la cinta adhesiva de doble cara bien distribuidas con los embriones hacia el lado inferior de la hoja, sumergiéndola a saturación en la solución del filtrado tóxico de la enfermedad *Fusarium* al 50 por ciento que fue (50 ml de filtrado tóxico más 50 ml de agua) en una charola de aluminio, luego se enrolla en forma de taco. Posteriormente cada taco se identificó con su respectivo tratamiento, repetición y el número de siembra, se colocó en bolsas de polietileno para meterlas en un sostenedor de metal y se llevó a la cámara de germinación con luz y temperatura de 25 a 28 °C.

**Riegos.** Se realizó cada 3<sup>er</sup> día (72 horas) en forma de aspersión para evitar los daños en las plántulas.

**Toma de datos.** Las primeras tomas de datos como son longitud de plúmula, longitud de raíz, peso fresco de plúmula y peso fresco de raíz fueron tomados a los 12 días después de la siembra. Las muestras se metieron en sobres de papel y se introdujo a la estufa de secado. Al pasar tres días de haberlo metido a la estufa se tomó el peso seco de plúmula y raíz.

## Análisis de Datos

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

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

Dónde:

$Y_{ij}$  = 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:

$$CV (\%) = (\sqrt{CMEE/X}) \times 100$$

Dónde:

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.

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

Dónde:

$Y_{ijk}$  = 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 =  $P(P-1)/2$ .

$R_k$  = 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 poderle dar cumplimiento a los objetivos y comprobación de hipótesis en el presente trabajo, se llevó a cabo el análisis de varianza bajo el modelo línea por probador, primeramente se presentan los resultados del experimento de vigor en presencia de secuestradores de humedad (tolerancia a sequía) y posteriormente los resultados de vigor cuando la germinación fue en presencia de filtrados tóxicos de la enfermedad *Fusarium* (resistencia a *Fusarium* spp).

### Resultados para Tolerancia a Sequía

**El cuadro 4.1** resume los resultados obtenidos del análisis de varianza de vigor para tolerancia a sequía. La fuente de variación repeticiones presenta diferencias significativas para las variables longitud de plúmula, longitud de raíz, peso seco de plúmula y peso seco de raíz, por lo que se considera que el modelo o diseño estadístico fue eficiente.

Para la fuente líneas la variable peso fresco de raíz fue la única que presentó diferencia, esto indica que al menos una línea se comporta diferente para el efecto de sequía, lo que genera la oportunidad de identificar líneas con buen potencial genético mismas que pueden ser utilizadas en un futuro para darle seguimiento con las evaluaciones en campo con respecto a tolerancia a sequía.

**Cuadro 4.1.** Cuadrados medios del análisis de varianza de 44 híbridos evaluados en sequía simulada a nivel de laboratorio durante el 2011.

Var		L.P.	L.R	P.F.P	P.F.R	P.S.P	P.S.R
F.V	G.L	(cm)	(cm)	(grs)	(grs)	(grs)	(grs)
REP	1	162.5601351**	78.1947422**	0.01128143	0.00310654	0.0002214*	0.00033458**
LINEA	16	4.7587354	5.9314021	0.00679476*	0.00299405	0.00005478	0.00005356
PROBADOR	3	5.6320097	1.8381486	0.01564524**	0.00635282*	0.00026569**	0.00034077**
LINEA*PROBADOR	24	6.4785001	5.3153431	0.00350319	0.00275182	0.00004295	0.00005714
REP*LINEA	16	9.4606644	9.0561225*	0.00524116	0.00250662	0.00006255	0.00007625*
REP*PROBADOR	3	5.9267835	9.8108048	0.00031537	0.00126905	0.00000874	0.00006254
Max		16.3571429	25.2230769	0.43508	88.1550857	0.04916429	0.05122143
Media		10.72199	19.29254	0.274396	0.097064	0.028273	0.02524
Min		2.42222222	5.01111111	0.1031	0.01859231	0.00846667	0.009375
C V (%)		23.01621	10.08813	18.76123	45.51657	21.02034	23.79528

\*\* Significancia  $P \leq 0.01$ ; \* Significancia  $P \leq 0.05$ ; VAR= Variables; F.V= Fuente de variación; G.L= Grados de libertad; L.P= Longitud de plúmula; L.R= Longitud de raíz; P.F.P= Peso fresco de plúmula; P.F.R= Peso fresco de raíz; P.S.P= Peso seco de plúmula; P.S.R= Peso seco de raíz; CM= centímetro; GRS= Gramos; PROB=Probador; REP=Repetición

La fuente de variación probador presentó diferencias estadísticas para las variables peso fresco de plúmula, peso fresco de raíz, peso seco de plúmula y peso seco de raíz. Se podría decir que al menos un probador se comportó diferente para esas variables. Lo que permitirá identificar aquel o aquellos que exhiban el mejor potencial genético y probablemente también podrían demostrar potencial de la discriminación de las líneas.

Línea por probador no se detectó diferencias para ninguna de las variables, esto indica que el comportamiento de las líneas fue similar con cada uno de los probadores.

Para la fuente de repetición por línea demostró deferencia para la variable peso seco de raíz, esto indica que el comportamiento de las líneas fueron diferentes en las repeticiones.

Para la fuente de variación repetición por probador no presento diferencias para ninguna de las variables, esto indica que los probadores mostraron un comportamiento similar en las repeticiones.

En el Cuadro 4.2 se presentan los valores obtenidos del ACG de todas las líneas, se presentaron diferencias en algunas líneas. En las variables longitud de plúmula y longitud de raíz, todas las líneas presentaron un efecto igual a cero lo cual indica que estadísticamente todas presentaron efectos similares ante la prueba de sequía. Nieto *et al.*, (2009) mencionan que la longitud de la parte aérea de la planta con respecto a su raíz, así como la producción de biomasa de ambas partes de la planta son indicadores para la resistencia a sequía.

**Cuadro 4.2.** ACG de líneas en las seis variables para la evaluación de tolerancia a sequía.

VAR	L.P (cm)		L.R (cm)		P.F.P (grs)		P.F.R (grs)		P.S.P (grs)		P.S.R (grs)	
	LIN	ACG	L.O	ACG	L.O	ACG	L.O	ACG	L.O	ACG	L.O	ACG
1	-0.72763	11	0.72637	4	-0.015203	13	-0.00069	9	-0.003201409	15	-0.005500952	15
2	-1.68505	15	1.11512	2	-0.010921	11	0.028972	3	-0.003022341	13	-0.001705376	11
3	-0.77342	12	-1.28462	16	-0.056359	16	-0.00889	12	-0.003172144	14	-0.003599263	14
4	0.19229	10	0.29955	8	0.006384	8	0.002073	8	-0.000006834	9	-0.001805287	12
5	0.90672	3	0.20507	9	-0.014746	12	-0.04009	16	-0.001585059	11	-0.00625087	16
6	0.82162	5	0.41268	7	0.060881**	1	0.022721	4	0.004201079	3	0.002505981	5
7	-0.88304	13	0.71362	5	-0.050117	15	-0.02268	15	-0.004303371	16	-0.003394155	13
8	-1.68852	16	-3.40594	17	-0.097651	17	-0.04846	17	-0.008563869	17	-0.007055131	17
9	1.03586	2	0.1425	11	0.019828	7	0.003398	7	0.000835954	7	-0.001288367	10
10	0.3917	8	0.90291	3	0.020027	6	0.014273	5	0.003701429	4	0.003360614	4
11	0.83966	4	-0.0322	12	0.027027	3	-0.00662	11	0.001372291	6	0.001841722	7
12	0.22822	9	-0.70569	13	-0.005498	10	-0.00657	10	-0.00297166	12	0.000265394	8
13	0.81409	6	0.51028	6	0.025336	4	-0.01398	14	0.004267297	2	0.002500032	6
14	0.60792	7	-1.24474	15	0.05207*	2	0.034636	2	0.008257299**	1	0.006272942*	3
15	-1.43251	14	1.27952	1	-0.042146	14	-0.01018	13	0.002994431	5	0.008635532**	2
16	-2.17699	17	0.1658	10	0.002543	9	0.06732**	1	0.000812264	8	0.009944547**	1
17	1.50437	1	-1.14269	14	0.021158	5	0.004628	6	-0.001020041	10	-0.000417101	9

\*\* Significancia  $P \leq 0.01$ ; \* Significancia  $P \leq 0.05$ ; VAR= Variables; LIN= línea; L.P= Longitud de plúmula; L.R= Longitud de raíz; P.F.P= Peso fresco de plúmula; P.F.R= Peso fresco de raíz; P.S.P= Peso seco de plúmula; P.S.R= Peso seco de raíz; CM= centímetro; GRS= Gramos; ACG= Aptitud combinatoria general; L.O= Lugar ocupado.

En cuanto a la solución utilizada en esta evaluación de -5 bares se puede decir que no fue lo suficientemente adecuada para la obtención de diferencias. Por lo que es conveniente someterlas a una dosis más concentrada del secuestrador de humedad, y así obtener resultados más eficientes para esta prueba de sequía. Al respecto Méndez *et al.*, (2010) evaluaron el efecto del potencial osmótico, creado con manitol sobre la germinación y crecimiento de plántulas de tres híbridos de maíz. Utilizando Potencial Osmótico: 0, -3, -6, -9 y -12 bares. De acuerdo a sus resultados sugirió el uso del PO -6 bares de manitol para discriminar cultivares de maíz tolerantes a la sequía.

Para peso fresco de plúmula las líneas que sobresalieron fueron la 6 y 14 las que presentaron, demostrando ser superior la línea 6 con un mayor efecto de ACG. En el caso de peso fresco de raíz de acuerdo al análisis estadístico, la línea 16 presentó diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ), esto indica que su efecto fue diferente de cero, es decir que el efecto que presentó es positivo.

En la variable peso seco de plúmula la que mayor efecto presentó fue la línea 14, fue la única que presentó efecto positivo significativamente. En peso seco de raíz las mejores líneas con alto valor de ACG positivo fueron 16, 15 y 14. Cabe mencionar que una de ellas fue la que mayor efecto demostró siendo la línea 16, indicando que puede ser utilizada para la formación de híbridos.

Layne *et al.*, (2008) concluyeron que el peso seco de la radícula se incrementó al aumentar la concentración de la solución osmótica, aun cuando la longitud y el volumen de ésta disminuyeron por la reducción del potencial osmótico. Por otra parte Machado *et al.*, (2004) mencionan que déficit de agua inducida por polietilenglicol mostraron valores similares a los observados en campo.

Sierra (2000) mencionan que un grupo importante de líneas con buena ACG pueden ser utilizadas en la formación de variedades sintéticas. En seguida Biasutti *et al.*, (2001) describen que la identificación de caracteres que permitan seleccionar materiales potencialmente tolerantes al estrés hídrico en etapas tempranas del desarrollo de un cultivo, es un aspecto importante que puede ayudar al proceso de mejoramiento en la identificación temprana de características que indiquen si un determinado genotipo es potencialmente tolerante. Esto puede brindar una alternativa a intentar caracterizar a un genotipo como tolerante basado en pruebas en ambientes controlados seguido por su evaluación a campo.

De las líneas utilizadas a la prueba de vigor para tolerancia a sequía las que sobresalieron fueron la línea 14 al presentar efectos positivos en tres variables y la 16 posteriormente en dos variables.

El cuadro 4.3 resume la aptitud combinatoria general de los probadores. En las variables longitud de plúmula y longitud de raíz los probadores no presentaron efecto diferentes de cero, lo cual demuestran ser buenos probadores para estas variables al no tener efectos que oculten el potencial de las líneas en discriminación. Coincidiendo con lo que dijo Vivek *et al.*, (2008) donde afirman que un buen probador debe facilitar la discriminación entre genotipos con base en la aptitud combinatoria y otras características deseadas.

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

VAR	L.P (cm)		L.R (cm)		P.F.P (grs)		P.F.R (grs)		P.S.P (grs)		P.S.R (grs)	
	ACG	L.O	ACG	L.O	ACG	L.O	ACG	L.O	ACG	L.O	ACG	L.O
1	-1.05639	4	0.06964	2	-0.054294	4	-0.022533	4	-0.006607474	4	-0.007695875	4
2	-0.01931	3	-0.11387	3	0.009568	3	0.022157*	1	0.001953654	2	0.004783371**	1
3	0.93404	1	0.29842	1	0.010875	2	-0.012738	3	-0.000591061	3	-0.002333009	3
4	0.04568	2	-0.19028	4	0.023638*	1	-0.000218	2	0.003607307**	1	0.002084239	2

\*\* Significancia  $P \leq 0.01$ ; \* Significancia  $P \leq 0.05$ ; VAR= Variables; PROB= Probador; L.P= Longitud de plúmula; L.R= Longitud de raíz; P.F.P= Peso fresco de plúmula; P.F.R= Peso fresco de raíz; P.S.P= Peso seco de plúmula; P.S.R= Peso seco de raíz; CM= centímetro; GRS= Gramos; ACG= Aptitud combinatoria general; L.O= Lugar ocupado.

Para las variables peso fresco y peso seco de raíz el probador 2 presentó efecto diferente de cero. Esto indica que mostró efectos favorables para resistencia de sequía al presentar efectos positivos de ACG para las variables referidas.

En el caso de peso fresco de plúmula y el peso seco de plúmula el probador que sobresalió fue el 4 presentando un efecto diferente de cero, presentó resultados con efectos positivos.

Los probadores 1 y 3 no presentaron efectos diferentes de cero para ninguna de las variables, de tal forma pueden ser tomados como buenos probadores al no tener efectos que enmascaren el potencial de las líneas en discriminación. Sahagún (2003) menciona que un buen probador debe permitir la selección de las líneas de mayor aptitud combinatoria que al recombinarse deben producir los sintéticos superiores.

Se destacan que de los cuatro probadores que se utilizaron en la prueba de vigor para tolerancia a sequía los probadores 1 y 3 fueron los únicos que sobresalieron como buenos probadores al no presentar efectos que ocultaran el potencial de las líneas en discriminación.

En el cuadro 4.4 se presentan los resultados del análisis estadístico para aptitud combinatoria específica de los híbridos. Para las variables longitud de plúmula, longitud de raíz y peso fresco de plúmula los híbridos no presentaron efectos diferentes a cero. Es decir que no mostraron tener efectos favorables ni desfavorables para estas variables. Para el caso de peso fresco de raíz el híbrido 9 presentó un efecto diferente de cero, esto indica que el híbrido demostró buena capacidad en función de esta variable para tolerar la sequía en condiciones de laboratorio a nivel plántula.

Para la variable peso seco de plúmula el híbrido 17 presentó efectos diferente de cero, en Aptitud combinatoria específica demostrando efectos favorables, al tener un mayor efecto positivo para la tolerancia a sequía.

Los mejores híbridos fueron el 9 y 15 para la variable peso seco de raíz lo cual indica que los valores obtenidos presentaron efecto positivo para tolerancia de sequía.

El híbrido que sobresalió en la prueba de vigor tolerancia a sequía fue el 9 al ser el único que mostró tener efectos positivos en dos variables.

**Cuadro 4.4.** ACE de híbridos para las seis variables para la evaluación de tolerancia a sequía

VAR	L.P (cm)		L.R (cm)		P.F.P (grs)		P.F.R (grs)		P.S.P (grs)		P.S.R (grs)	
	HIB	ACE	L.O	ACE	L.O	ACE	L.O	ACE	L.O	ACE	L.O	ACE
1	0.76916	12	0.324	18	0.049768	5	0.032787	4	0.004728	5	0.007839	3
2	-0.15	25	1.3116	6	-0.024191	31	-0.0305	38	-0.001156	28	-0.001216	27
3	1.24829	8	-0.3508	29	0.040976	9	0.010017	17	0.003452	7	0.001271	16
4	1.3252	7	0.3269	17	0.021439	12	-0.02849	37	0.006036	3	0.003908	9
5	-1.36161	38	0.1256	24	-0.025324	32	0.015658	12	0.002184	11	0.00335	12
6	0.74354	13	0.2867	20	0.008648	18	-0.00981	28	-0.004551	39	-0.001754	31
7	-0.07212	23	-2.7755	44	-0.020964	29	-0.0182	33	-0.002024	34	-0.000661	23
8	0.70018	15	1.865	4	0.042689	6	0.011278	15	0.001523	14	0.003914	8
9	-0.40147	30	-0.0378	27	0.064862	2	0.080895*	1	0.008626	2	0.011443*	1
10	1.2257	9	-1.2674	37	0.068917	1	0.030876	6	0.00581	4	0.004128	7
11	-1.01604	35	0.6368	13	0.012857	16	0.009146	19	0.000807	17	-0.000432	21
12	-0.17259	26	0.395	15	0.00375	19	-0.00964	27	0.001202	16	0.001642	15
13	1.47432	6	0.2007	22	-0.018742	28	-0.06715	44	-0.005481	42	-0.008111	43
14	0.0917	21	1.0018	8	0.042399	7	0.031296	5	-0.000666	25	-0.000765	24
15	-1.59876	39	1.3485	5	-0.021477	30	0.025124	8	0.000403	19	0.009918*	2
16	1.57656	5	-0.629	31	-0.003386	25	-0.04466	43	0.001713	13	0.00099	17
17	1.0157	10	-0.7247	33	0.050412	4	-0.00309	23	0.010163*	1	0.004811	5
18	0.08812	22	2.801	1	-0.000162	23	0.014697	13	-0.005289	40	-0.005248	39
19	-2.75786	42	-0.6407	32	-0.065371	44	-0.00452	25	-0.01024	44	-0.007661	42
20	-0.46783	31	0.0122	26	-0.034887	38	-0.001	22	-0.003205	37	-0.005779	41
21	0.3737	18	0.8044	11	-0.016779	27	-0.01031	30	0.000765	18	-0.002826	36
22	0.37552	17	-1.8207	41	0.002037	21	-0.0109	31	0.003131	8	-0.001002	25
23	2.23503	3	0.5324	14	-0.002634	24	-0.03683	41	-0.001705	32	-0.005626	40
24	-0.23947	28	-0.3763	30	0.010504	17	0.016313	11	-0.000789	27	-0.000102	19
25	-3.4409	44	-1.1423	36	-0.051006	42	0.012559	14	-0.001458	30	0.002098	14
26	0.10132	20	-0.8213	35	-0.0333	37	-0.01857	34	-0.00217	35	-0.002018	33
27	-0.17674	27	2.0069	3	-0.041472	41	-0.00746	26	-0.001728	33	-0.000176	20
28	-1.27524	37	-1.5828	39	-0.029986	34	0.010309	16	-0.000125	22	0.002102	13
29	-0.29707	29	-1.606	40	0.016137	14	0.004729	20	-0.001235	29	-0.002683	35
30	0.35552	19	0.8972	10	0.023739	11	0.039576	3	-0.000086	21	-0.001493	28
31	2.11982	4	1.1468	7	0.042015	8	0.019359	9	0.002088	12	0.00619	4
32	-1.02646	36	0.3399	16	-0.011998	26	0.01703	10	0.001371	15	0.003688	11
33	-1.69189	40	-0.7488	34	-0.028377	33	-0.03095	39	-0.001676	31	-0.000571	22
34	-0.67525	33	0.1917	23	-0.030947	35	-0.02573	36	-0.000574	24	-0.002349	34
35	2.74841	1	0.6406	12	0.021019	13	-0.00986	29	0.000321	20	-0.001992	32
36	-2.25799	41	-2.2019	42	0.016134	15	0.065405	2	0.002239	10	0.003752	10
37	0.93542	11	0.2633	21	-0.03874	40	-0.03906	42	-0.004138	38	-0.01177	44
38	-2.89248	43	-0.2625	28	-0.064434	43	-0.00412	24	-0.006597	43	-0.004031	38
39	-0.68154	34	-1.4502	38	0.00309	20	0.000471	21	-0.000681	26	-0.001595	29
40	-0.6368	32	0.0342	25	-0.036849	39	0.009195	18	-0.005345	41	-0.003583	37
41	-0.11449	24	-2.4968	43	-0.033044	36	-0.03664	40	-0.000272	23	-0.00162	30
42	2.7315	2	0.9449	9	0.032165	10	-0.01742	32	0.004679	6	0.000794	18
43	0.44146	16	0.292	19	0.00168	22	-0.02094	35	-0.002356	36	-0.001089	26
44	0.72844	14	2.2057	2	0.058831	3	0.0291	7	0.002305	9	0.004315	6

\*\* Significancia  $P \leq 0.01$ ; \* Significancia  $P \leq 0.05$ ; VAR= Variables; HIB= Híbridos; L.P= Longitud de plúmula; L.R= Longitud de raíz; P.F.P= Peso fresco de plúmula; P.F.R= Peso fresco de raíz; P.S.P= Peso seco de plúmula; P.S.R= Peso seco de raíz; CM= centímetro; GRS= Gramos; ACE= Aptitud combinatoria específica; L.O= Lugar ocupado.

## Resultados para Resistencia a *Fusarium*

En el cuadro 4.5 resume los resultados obtenidos del análisis de varianza de vigor para resistencia a *Fusarium Spp.*

La fuente de variación repetición presentó diferencias estadísticas ( $P \leq 0.01$ ) para las variables longitud y peso fresco de plúmula, esto indica que entre una y otra repetición presenta diferencias para estas variables. Por lo que se considera que el diseño estadístico o modelo fue eficiente, al lograr extraer los efectos de las repeticiones del error experimental.

La fuente de líneas para longitud de raíz y peso fresco de raíz presenta diferencias estadísticas, esto indica que al menos una de ellas se comportó diferente, lo cual permitirá identificar líneas con excelentes atributos agronómicos, las cuales podrían ser utilizadas más adelante para la evaluación en campo con respecto a resistencia a *Fusarium*.

**Cuadro 4.5.** Cuadrados medios del análisis de varianza de 44 híbridos para la evaluación de *Fusarium* simulada a nivel laboratorio 2011.

Var		L.P	L.R	P.F.P	P.F.R	P.S.P	P.S.R
F.V	G.L	(cm)	(cm)	(grs)	(grs)	(grs)	(grs)
REP	1	177.9398995**	2.74651641	0.11170157**	0.00326336	0.00023401	0.00002692
LINEA	16	3.7351452	6.22673075*	0.00716931	0.00943742**	0.00007836	0.00003963
PROBADOR	3	13.45112**	1.30678412	0.10037829**	0.05520441**	0.00067157**	0.00041621**
LINEA*PROBADOR	24	2.3361499	1.73186809	0.00567644	0.00318897	0.00007345	0.00003638
REP*LINEA	16	3.0075094	3.60350893	0.00499833	0.00351615	0.00005976	0.00001402
REP*PROBADOR	3	2.4384675	5.58235726	0.00205482	0.00034891	0.00004858	0.00002614
Max		21.7076923	26.9916667	376.133947	0.49504	0.07330667	0.04392
Media		15.50851	23.14941	0.531901	0.305526	0.043407	0.030168
Min		7.675	18.725	0.27294444	0.152775	0.0191625	0.013925
C V (%)		8.824861	7.069295	11.93305	18.50939	18.31641	17.17031

\*\* Significancia  $P \leq 0.01$ ; \* Significancia  $P \leq 0.05$ ; VAR= Variables; F.V= Fuente de variación; G.L= Grados de libertad; L.P= Longitud de plúmula; L.R= Longitud de raíz; P.F.P= Peso fresco de plúmula; P.F.R= Peso fresco de raíz; P.S.P= Peso seco de plúmula; P.S.R= Peso seco de raíz; CM= centímetro; GRS= Gramos; PROB=Probador; REP=Repetición.

La fuente de variación probador presenta diferencias estadísticas para las variables longitud de plúmula, peso fresco de plúmula, peso seco de plúmula, peso fresco de raíz y peso seco de raíz, esto indica que por lo menos un probador se comportó diferente, lo que permitirá la identificación de aquellos que mejor se comporten para resistencia de *Fusarium* para las variables referidas.

Para las fuentes línea por probador, repetición por línea y repetición por probador no presentaron diferencias estadísticas en ninguna de las variables, esto indica que los híbridos se comportaron de forma similar, es decir que son estables.

En el cuadro 4.6 se presentan los valores obtenidos de aptitud combinatoria general de las líneas con cada una de las variables. En la variable longitud de plúmula las líneas 14, 10 y 11, presentaron efectos diferentes de cero, cabe mencionar que una de ellas presentó mayor efecto siendo la línea 14. Esto indica que presentaron efectos favorables para resistencia a *Fusarium*, lo que se recomienda evaluarlas en campo. Coincidiendo con los resultados obtenidos por Mendoza *et al.*, (2006) al inocular líneas en campo bajo la técnica de palillo en etapa de floración encontrando cuatro líneas resistentes.

Para el caso de longitud de raíz las líneas 1, 16 y 14, presentaron efectos favorables para resistencia a *Fusarium*. Presentando mayor efecto la línea 1 para esta variable. En cuanto a la variable peso fresco de plúmula las líneas 14, 16, y 6, presentaron efectos diferentes de cero, es decir mostraron efectos favorables para resistencia a *Fusarium*. Para el caso de peso fresco de raíz presentaron efectos diferentes de cero las líneas 16, 9 y 10, mostrando mayor efecto la línea 16.

Para la variable peso seco de plúmula las líneas 3, 2 y 17 presentó efecto diferente de cero, es decir presentó efectos positivo a la resistencia de *Fusarium*. En lo que fue peso seco de raíz sobresalieron las líneas 10 y 16 mostrando efectos positivos. Esto indica que presentaron efectos favorables a resistencia de *Fusarium*.

Para la prueba de vigor resistencia a *Fusarium* las líneas que sobresalieron fueron las 14 y 16 presentan efectos en tres variables y dos variables posteriormente.

De las líneas evaluadas las que presentaron efectos favorables para resistencia a la enfermedad de *Fusarium* fueron la 16, 14, 10 y 6 al presentar diferencias entre dos y cuatro variables.

**Cuadro 4.6.** ACG de líneas en las seis variables para la evaluación resistencia a *Fusarium Spp.*

Var	L.P (cm)		L.R (cm)		P.FP (grs)		P.F.R (grs)		P.S.P (grs)		P.S.R (grs)	
	ACG	L.O	ACG	L.O	ACG	L.O	ACG	L.O	ACG	L.O	ACG	L.O
1	0.89222	4	2.15882**	1	0.02514	5	-0.02894	13	0.00185494	7	-0.00103205	11
2	-1.63319	16	-1.60511	17	-0.0702	15	-0.00279	8	0.007681369*	2	-0.00360302	14
3	-1.25569	15	-1.53069	15	-0.05676	14	-0.01297	10	0.008739464*	1	-0.00394866	15
4	0.11823	7	0.31448	6	-0.0179	11	-0.04139	14	-0.0011476	12	-0.0029503	13
5	-0.90734	14	-1.54409	16	-0.03985	13	-0.06607	16	0.00205065	6	-0.00141858	12
6	0.63625	5	0.51041	5	0.05682*	3	-0.0143	11	-0.00281085	13	0.00054873	7
7	-0.73425	13	-0.21756	10	-0.0286	12	-0.02065	12	-0.0044084	14	0.00041372	8
8	-2.59991	17	0.29533	7	-0.10247	17	-0.06995	17	0.00418625	4	-0.00563985	16
9	-0.26661	11	-0.54401	12	-0.00367	10	0.06893**	2	0.00094673	8	0.00277833	5
10	1.45577*	2	0.51666	4	0.02386	6	0.05881*	3	0.00205363	5	0.00559807*	1
11	1.28234*	3	-0.8336	13	0.0173	7	0.00916	6	0.0006201	9	0.00012266	9
12	0.07633	8	0.28781	8	0.00561	9	0.04488	4	-0.0008803	11	0.00371097	4
13	0.46094	6	0.2867	9	0.04242	4	0.00551	7	-0.00051197	10	-0.00054506	10
14	1.71149**	1	1.66726*	3	0.07836**	1	0.0385	5	-0.00952699	17	0.00394057	3
15	-0.27661	12	-0.52143	11	0.01172	8	-0.00492	9	-0.00584007	15	0.00195343	6
16	-0.12851	10	1.66892*	2	0.07171*	2	0.12305**	1	-0.00624123	16	0.00528724*	2
17	0.07136	9	-1.37458	14	-0.07052	16	-0.05826	15	0.006783037*	3	-0.00630478	17

\*\* Significancia  $P \leq 0.01$ ; \* Significancia  $P \leq 0.05$ ; VAR= Variables; L.P= Longitud de plúmula; L.R= Longitud de raíz; P.F.P= Peso fresco de plúmula; P.F.R= Peso fresco de raíz; P.S.P= Peso seco de plúmula; P.S.R= Peso seco de raíz; CM= centímetro; GRS= Gramos; ACG= Aptitud Combinatoria General; L.O= Lugar ocupado.

El cuadro 4.7 resume los valores de aptitud combinatoria general de los probadores. El probador 1 presento efecto positivo para la variables peso seco de plúmula. El probador 2 presentó efecto positivo para las variables peso fresco de raíz, peso seco de plúmula y peso seco de raíz. El probador 4 presentó diferencias ( $P \leq 0.01$ ) para las variables longitud de plúmula, peso fresco de plúmula, peso fresco de raíz y peso seco de raíz. Esto indica que presentó efectos favorables para resistencia a *Fusarium*.

Para el caso del probador 3 no presentó efecto diferente de cero, es decir que mostró no tener efectos favorables ni desfavorables, esto demuestra que puede ser tomado como buen probador al no presentar efectos que encubran el potencial de las líneas en discriminación.

Para la resistencia a *Fusarium* el probador que sobresalió de los cuatros que se emplearon para esta investigación fue el 3 al no enmascarar los potenciales de las líneas en discriminación por lo que resultó ser buen probador para resistencia dicha enfermedad.

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

VAR	L.P (cm)		L.R (cm)		P.F.P (grs)		P.F.R (grs)		P.S.P (grs)		P.S.R (grs)	
	ACG	L.O	ACG	L.O	ACG	L.O	ACG	L.O	ACG	L.O	ACG	L.O
1	-1.74727	4	-0.55841	4	-0.11213	4	-0.071242	4	0.005734075**	1	-0.007227643	4
2	0.27133	3	0.14879	2	0.02267	2	0.043639**	1	0.003920696*	2	0.003412634**	1
3	0.34189	2	-0.0474	3	-0.01685	3	-0.041709	3	-0.00326237	3	-0.001682435	3
4	0.82365**	1	0.32679	1	0.08376**	1	0.040369**	2	-0.00777935	4	0.003068363**	2

\*\* Significancia  $P \leq 0.01$ ; \* Significancia  $P \leq 0.05$ ; VAR= Variables; PROB= Probadores; L.P= Longitud de plúmula; L.R= Longitud de raíz; P.F.P= Peso fresco de plúmula; P.F.R= Peso fresco de raíz; P.S.P= Peso seco de plúmula; P.S.R= Peso seco de raíz; CM= centímetro; GRS= Gramos; ACG= Aptitud combinatoria General; L.O= Lugar ocupado.

El cuadro 4.8 resume los valores de ACE de los híbridos. Para las variables longitud de plúmula, longitud de raíz, peso seco de plúmula y peso fresco de raíz no presentaron efectos diferentes de cero, esto indica que todos los híbridos se comportaron de una forma similar para estas variables.

Para peso fresco de plúmula el híbrido 12 presentó efecto positivo. Lo que indica tener efectos favorables para resistencia a *Fusarium*, por lo que se recomienda darle seguimiento y evaluarlas en campo. En el caso de peso seco de raíz solamente el híbrido 17 demostró efecto diferente de cero, es decir presentó efectos positivos. Por lo que se considera resistente a *Fusarium* en condiciones de laboratorio a nivel plántula.

En condiciones de laboratorio y a nivel plántula los híbridos 12 y 17 presentaron efectos positivos para resistencia a *Fusarium*, en diferentes variables por lo cual es recomendable ponerlos a prueba en campo para conocer sus comportamientos. Betanzos *et al.*, (2009) obtuvieron un híbrido de cruce simple con resistencia a pudrición de mazorca causada por hongos de los géneros *Diplodia* y *Fusarium*. Por otro lado Sierra *et al.*, (2004), Presello *et al.*, (2009) encontraron genotipos resistentes a pudrición de mazorca por *Fusarium*.

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

Var	L.P (cm)		L.R (cm)		P.F.P (grs)		P.F.R (grs)		P.S.P (grs)		P.S.R (grs)	
	HIB	ACE	L.O	ACE	L.O	ACE	L.O	ACE	L.O	ACE	L.O	ACE
1	0.40231	16	0.59595	8	0.03102	12	0.055092	4	0.000334	22	0.00248039	9
2	1.38926	4	0.46604	12	0.0831	4	0.051839	5	-0.008266	41	0.00620905	4
3	-0.13324	26	-0.47287	35	-0.02825	32	-0.030345	33	-0.006651	39	-0.00207326	30
4	1.27767	5	0.44452	13	0.04594	10	0.01477	16	0.00526	5	0.00147804	14
5	0.8074	10	-0.07309	26	0.024	16	0.045126	7	0.003546	11	0.00082191	17
6	0.54155	14	0.60788	7	-0.02017	28	0.030538	12	0.000718	19	0.00128378	15
7	0.38912	17	-0.15788	28	-0.03446	33	-0.029445	32	-0.002069	31	-0.00250273	33
8	-0.33747	28	-0.91018	40	0.03418	11	-0.005072	25	-0.009681	43	6.2225E-05	21
9	1.4137	3	1.66206	1	0.10212	2	0.055639	3	-0.000283	26	0.00709226	3
10	0.08668	23	-0.05642	25	0.00635	19	-0.024236	29	-0.001389	30	-0.00239404	32
11	0.70772	12	0.30514	14	0.06136	5	0.038326	9	-0.002371	32	0.0041682	6
12	1.60918	2	0.8825	5	0.11771*	1	0.057949	2	-0.003004	34	0.00588826	5
13	-0.42219	29	0.6254	6	-0.05213	37	-0.049415	40	0.003242	13	-0.00500973	41
14	0.65311	13	-1.13149	43	0.04683	9	0.013763	18	-0.006252	38	0.00194395	13
15	-1.33213	40	0.11566	18	-0.07467	42	-0.031726	35	-0.002721	33	-0.00540184	42
16	1.15784	6	0.27472	15	0.00057	21	-0.0687	43	-0.000102	25	-0.00091006	26
17	-0.57943	31	-1.05194	42	0.02815	14	0.032986	10	0.003915	9	0.009260879*	1
18	-0.078	25	-0.02879	23	-0.005	22	-0.031074	34	0.005013	6	-0.0021243	31
19	-1.44943	41	1.50252	2	-0.07181	41	-0.033339	38	0.003187	14	-0.00090811	25
20	0.72867	11	-0.97712	41	-0.02691	31	-0.080265	44	0.000508	21	-0.0047243	39
21	-0.59226	32	0.26936	16	-0.01967	27	-0.032607	36	0.009604	2	-0.00050745	23
22	1.8134	1	1.31981	3	0.05528	7	0.032676	11	0.000026	24	0.00375278	8
23	-0.52324	30	-0.77085	37	-0.02646	30	0.029602	13	-0.005457	37	-0.00373306	37
24	-0.69787	34	-0.19909	29	0.00271	20	0.022459	14	-0.003844	35	-0.00066324	24
25	-0.74262	35	-0.42417	32	-0.03707	35	-0.004808	24	0.005443	4	0.00121005	16
26	-1.32094	39	-0.40653	31	-0.06719	39	-0.040256	39	0.001713	17	-0.0058984	44
27	-1.46941	42	-0.24174	30	-0.02544	29	0.006766	21	0.000186	23	0.00068534	18
28	-0.79673	36	1.14399	4	0.01354	18	0.04078	8	-0.0054	36	0.00207545	12
29	-0.24626	27	-0.05125	24	-0.03802	36	0.008984	20	0.000972	18	0.00053609	19
30	-0.61468	33	0.16744	17	-0.01865	26	0.014189	17	0.004756	8	-0.00296129	35
31	0.81289	9	-0.14077	27	0.08565	3	0.060599	1	-0.011081	44	0.00757087	2
32	0.23001	20	0.51091	9	0.02587	15	-0.024266	30	-0.008081	40	-0.00479739	40
33	0.24359	19	-0.43419	33	0.03064	13	-0.015927	27	-0.000653	28	0.00213825	11
34	0.08465	24	0.0977	20	-0.00854	23	-0.024388	31	0.003186	15	-0.00106696	28
35	0.92204	7	0.10724	19	0.05127	8	0.022298	15	-0.00047	27	0.00215128	10
36	0.45472	15	-0.81184	38	-0.01201	25	0.000349	22	0.003692	10	-0.00047417	22
37	0.1415	21	-0.49259	36	0.02311	17	-0.019556	28	0.008869	3	6.7194E-05	20
38	-1.98003	44	-0.87034	39	-0.0715	40	0.012211	19	0.002467	16	-0.00092722	27
39	-1.03857	38	0.49289	11	-0.06443	38	-0.033142	37	0.012842	1	-0.00255106	34
40	0.11825	22	0.06339	21	-0.01131	24	-0.010314	26	0.004835	7	-0.00331819	36
41	-1.01699	37	-0.44679	34	-0.10143	44	-0.052934	42	-0.001155	29	-0.0043567	38
42	0.35444	18	-1.9781	44	-0.03462	34	-0.050669	41	0.000671	20	-0.00557289	43
43	-1.82365	43	0.50154	10	-0.07952	43	-0.003742	23	0.003351	12	-0.0017567	29
44	0.85542	8	-0.02864	22	0.05982	6	0.049287	6	-0.00941	42	0.00375682	7

\*\* Significancia P ≤ 0.01; \* Significancia P ≤ 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.

## V. CONCLUSIONES

Las líneas 14 y 16 fueron las que presentaron mejor comportamiento en aptitud combinatoria general para sequía y las líneas 16, 14, 10 y 6 para *Fusarium*.

En la estimación de ACE los híbridos 9, 17 y 15 fueron los que mejor se comportaron para tolerar el estrés de sequía en condiciones de laboratorio al nivel plántula sobresaliendo el 9 en dos variables. En cuanto para resistencia a *Fusarium* resultan los híbridos 12 y 17 con mejor comportamiento a resistencia a dicha enfermedad.

En cuanto a los probadores, los resultados muestran que en ambos experimentos, tolerancia a sequía y resistencia a *Fusarium*, los probadores 2 y 4 presentaron efectos favorables, mientras que el probador 1 solamente presentó efecto positivo para el experimento de *Fusarium*.

El probador 3 en ACG no presentó efectos diferentes de cero tanto en las variables de sequía como de *Fusarium* mientras que el probador 1 tuvo efectos iguales a cero en ACG solamente para las variables de sequía, por lo que se recomienda hacer uso de estos materiales como probadores al no presentar efectos que emascaren el potencial de las líneas en discriminación.

## VI. RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivos I) Comparar el comportamiento de los híbridos originados por las cruzas de 17 líneas con cuatro probadores bajo presencia simulada de sequía y *Fusarium*. II) comparar el vigor de cada probador y cada línea para *Fusarium* y Sequía. III) Compara la aptitud combinatoria de las líneas y los probadores para esas mismas variables. Para lograr los objetivos planteados se evaluaron 44 genotipos originados de las cruzas de 17 líneas con 4 probadores y se midieron seis variables, longitud de plúmula, longitud de raíz, peso fresco de plúmula, peso fresco de raíz, peso seco de plúmula y peso seco de raíz. La evaluación se llevó a cabo en el Laboratorio de Cultivos de Tejidos vegetales “in vitro” del Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Bajo el diseño de bloques al azar con dos repeticiones, y se utilizó el diseño línea por probador para la estimación de efectos de ACG y ACE. La siembra se efectuó 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 50 por ciento donde fueron sometidos los tacos, los riegos se realizaron cada 3<sup>er</sup> día y la toma de datos se realizó a los 10 días después de la siembra. Los resultados para tolerancia a sequía en la estimación de ACG sobresalen las líneas 6 y 14 en la variable peso fresco de plúmula, la línea 16 para peso fresco de raíz, para peso fresco de plúmula sobresalió la línea 14 y en la variable peso seco de raíz las

que sobresalieron fueron la 16, 15 y 14, las líneas mencionadas en las respectivas variables presentaron efectos favorables para el caso de tolerancia a sequía. Para el caso de la estimación de ACG de los probadores presentaron efectos positivos, el 2 en las variables peso fresco, peso seco de plúmula y peso seco de raíz y el 4 en las variables peso fresco y peso seco de plúmula. Los probadores 1 y 3 fueron identificados como buenos probadores al no presentar efectos que enmascaren el potencial de las líneas en discriminación. Para ACE sobresalen los híbridos 17 en la variable peso seco de plúmula, 9 para peso fresco y seco de raíz y 15 para el peso seco de raíz. Para resistencia a *Fusarium spp.* se detectaron diferencias estadísticas en las fuentes de variación entre repeticiones, líneas y probadores, para el caso de efecto de ACG sobresalen las líneas 16, 14, 10 y 6 con efectos positivos. En los probadores sobresalen el 1, 2 y 4 presentando efectos positivos, como buen probador sobresalió el 3 al no tener efectos que enmascaren el potencial de las líneas en discriminación. Para ACE sobresalen los híbridos 12 y 17 presentando efectos favorables. Los resultados muestran que en ambos experimentos el probador 3 sobresalió al no presentar efectos diferentes de cero indicando ser un buen probador para tolerancia a sequía y resistencia a *Fusarium* en condiciones de laboratorio a nivel plántula. Por lo que se sugiere darle seguimiento con las evaluaciones en campo de estos materiales y si conservan sus atributos agronómicos poderlos usar como progenitores para la formación de híbridos tolerantes y resistentes para estos fenómenos.

**Palabras clave:** tolerancia a Sequía, resistencia a *Fusarium*, línea, probador, heterosis, híbrido, ACG y ACE.

## VII. LITERATURA CITADA

- Antuna G.O., F. Rincón S., E. Gutiérrez del R., N.A. Ruiz T. y L. Bustamante G. 2003.** Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas de líneas de maíz. Rev. Fitotec. Mex. 26(1): 11-17.
- 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 19(1):27-37. ISSN: 1021-7444.
- Biasutti C.A. y V. A. Galiñanes 2001.** Influencia del ambiente de selección sobre la germinación de semillas de maíz (*Zea Mays L.*) bajo estrés hídrico. Relaciones entre caracteres de plántula con el rendimiento a campo. Agriscientia, Vol. XVIII: 37-44.
- Betanzos M.E., A. Ramírez F., B. Coutiño E., N. Espinoza P., M. Sierra M., A. Zambada M. y M. Grajales S. 2009.** Híbridos de maíz resistentes a pudrición de mazorca en Chiapas y Veracruz, México. Agricultura Técnica. De México, Vol.35, Núm. 4 pp. 391-400. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Bolaño M. A. S., A. Bosco C., J. Pagela H. y A. Paccapelo H. 2008** Aptitud combinatoria de líneas indocriadas ( $S_8$ ) de maíces forrajeros con introgresión de *Zea diploperennis* Iltis, Doebley y Guzmán para la producción de biomasa aérea. Rev. Fac. Agronomía – UNLPam – Vol. 19 6300 Santa Rosa – Argentina.

- Bravo L. A. G., H. Salinas G. y A. Rumayor R. 2006.** Sequía: Vulnerabilidad, Impacto y Tecnología para Afrontarla en el Norte de México. Instituto Nacional de Investigación Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Norte-Centro Campo Experimental Zacatecas. Libro Técnico Núm. 4, 2ª Edición.
- Carmona M. y Scandiani M. 2011.** Importancia y control de *Fusarium verticillioides* en semillas de maíz. Propuesta para su manejo. Laboratorio Agrícola Rio Paraná. San Pedro.
- CIMMYT Maize Program. 2004.** Maize diseases: A guide for field identification. 4th edition. CIMMYT, México City, México.
- Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA). 2010.** Agricultura de temporal y su relación con la sequía. Boletín Divulgativo n.º 3.
- Covarrubias R.A.A. 2007.** Sobrevivir al estrés: cómo responden las plantas a la falta de agua. Biotecnología Vol. 14 CS3.indd 253.
- De la Cruz L.E., E. Gutiérrez del R., A. Palomo G. y S. Rodríguez H. (2003).** Aptitud combinatoria y heterosis de líneas de maíz en la Comarca Lagunera. Revista Fitotecnia Mexicana 26: 279-284.
- De la cruz L. L., J. J. Sánchez G., J. Ron, P., F. Santacruz R., E. Rodríguez G., J. A. Ruiz C. y M. M. Morales R. 2008.** Probadores de maíz para factores de incompatibilidad gametofítica. Revista Fitotecnia Mexicana Vol. 31 (4): 341 – 349.
- Escorcía G. N., J. D. Molina G., F. Castillo G. y J. A. Mejía .C. 2010.** Rendimiento, heterosis y depresión endogámica de las cruces simples de maíz. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 33 (3): 271 – 279.

- 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* 28(2):124-134.
- 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 Cosechados y Producción de Fumonisina B1 por Cepas de *Fusarium Verticillioides* (SACC.) Nirenb. *Revista Mexicana de Fitopatología*, Vol. 24, Núm. 001. Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C. Ciudad Obregón, México. Pp.27-34.
- García A.G. y R. Martínez F. 2010.** Especies de *Fusarium* en granos de maíz recién cosechados y desgranado en el campo en la región de Ciudad Serdán Puebla. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81(1): 15-20. UNAM. Distrito Federal, México.
- Gaytán B.R. y N. Mayek P. 2010.** Heterosis en híbridos de maíz producidos de cruzamientos entre progenitores de valles altos x tropicales. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* (48):4-8.
- 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., Hernández A., Alezones J. 2009.** Caracterización molecular de líneas tropicales de maíz (*Zea Mays* L.) y su relación con los patrones heteróticos. *Bioagro* v. 21 n. 3 Barquisimeto.

- González L.M., Argente L., Zaldívar N. y Ramírez R. 2005.** Efecto de la Sequía Simulada con PEG-600 Sobre la Germinación y Crecimiento de las Plántulas de dos variedades de trigo. *Cultivos Tropicales*, Vol. 26, No. 4, pp. 49-52. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) la Habana, Cuba.
- Godoy 2006.** Maíz y Nutrición, Información sobre los usos y propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. Recopilación de ILSI Argentina serie de informes especiales Vol. II.
- Guerrero G.C., Armando A. Espinoza B., A. Palomo G., E. Gutiérrez Del R., H. Zermeño G. y M. P. González C. 2011.** Aptitud combinatoria del rendimiento y sus componentes en dos grupos de líneas de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 22(2):257-267.
- Guillen de la C. P., E. Cruz L., G. Castañón N., R. Osorio O., N. Brito M., A. Lozano del R. y U. López, N. 2009.** Aptitud combinatoria general y específica de germoplasma tropical de maíz. Vol. 10, Núm. 1, pp. 101-107. Universidad Autónoma de Yucatán México.
- Gutiérrez del R. E., A. Palomo G., A. Espinoza B. y E. De la cruz L. 2002.** Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la comarca lagunera, México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 25 (3): 271 – 277.
- Hernández P. C. 2003.** Potencial de rendimiento de líneas derivadas de dos poblaciones de maíz con diferente dosis de germoplasma criollo y mejorado. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo Coahuila, México.

- Lanubile A. Pausini L. y Marocco A. 2011.** Corrigendum to “Differential gene expression in kernels and silks of maize lines with contrasting levels of ear rot resistance after *Fusarium verticillioides* infection” [J. Plant Physiol. 167 (2010) 1398–1406] Journal of Plant Physiology, Volumen 168, Issue 3, Page 298.
- 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, Núm. 1, pp. 26-34.
- Lobato O. R., J. D. Molina G., J. J. López, R., J. A. Mejía C. y D. Reyes L. 2010.** Criterios para elegir el mejor probador de la aptitud combinatoria general para rendimiento de grano de líneas autofecundadas de maíz. Agrociencia v. 44 n. 1 México.
- López A. C. M. 2004.** Híbridos Triples de Maíz para el Bajío y Trópico Seco Mexicano. Evaluación y Selección. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo Coahuila, México.
- Machado N. B.; S. Marques S., D. Carlini B. y C. Castilho C. 2004.** Water stress induced by mannitol and sodium chloride in soybean cultivars. Brazilian Archives of Biology and Technology 47 (4): 521-529.
- Madriz O.K. 2002.** Mecanismo de Defensa en las Interacciones Planta- Patógeno. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) No. 63 p. 22-32.
- Madueño M.A., J. D. García P., J. Martínez H. y C. Rubio T. 2006.** Germinación y crecimiento de frijolillo *Rhynchosia mínima* (L.) DC con diferentes potenciales osmóticos. TERRA Latinoamericana, Vol. 24, Núm. 2 pp.187-192. Universidad Autónoma Chapingo México.

- Malacarne M. F. y F. M. San Vicente G. 2003.** Patrones Heteróticos de Líneas Tropicales Blancas de Maíz. *Agronomía Tropical* 53(4):437-456.
- 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, pp. 9-14 Universidad Autónoma Chapingo de México.
- Méndez N.J., F. Ybarra P. y J. Merazo P. 2010.** Germinación y Desarrollo de Plántulas de Tres Híbridos de Maíz bajo Soluciones Osmóticas. IV. Manitol. Departamento de Agronomía, Escuela de Ingeniería Agronómica Universidad de Oriente. *Revista Tecnológica ESPOL-RTE*, Vol. 23, No. 1, 41-47.
- Mendoza M., Oyervides A. y López A. 2000.** Nuevos cultivares de maíz con potencial agronómico para el trópico húmedo. *Agronomía Mesoamericana*, vol. 11, núm. 001 Universidad de Costa Rica Alajuela, Costa Rica pp. 83-88.
- Mendoza M. E., A. López B., A. Oyervides G., G. Martínez Z., de León C. y E. Moreno M. 2003.** Herencia genética y citoplasmática 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(3) Sociedad Mexicana de Fitopatología pp. 267-271.
- 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* 17 (1): 19-24. Universidad de Costa Rica. Ajuela, Costa Rica.
- Montenegro T. H., F. Rincón S., N. L. Ruiz T., H. de León C. y G. Castañón N. 2002.** Potencial genético y aptitud combinatoria de germoplasma de maíz tropical. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 25(2):135-142.

- Morata M. M., A. Presello D. y P. González M. 2006.** Aptitud combinatoria para rendimientos entre líneas de maíz derivadas de nuevas fuentes de resistencia al mal de rio cuarto Revista de la facultad de agronomía, la plata 106 (1), ISSN 0041, Facultad de Ciencias y Forestales, UNLP, Argentina.
- Moreno F. L. P. 2009.** Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Agronomía Colombiana 27 (2), 179-191.
- Nieto G.A., E. Troyo D., J. L. García H., B. Murillo A., F. H. Ruiz E. y E. Pimienta B. 2009.** Efecto del estrés hídrico edáfico en emergencia y desarrollo de plántulas en las especies de chile *Capsicum frutescens* L. y *Capsicum annun* L. tropical and subtropical agroecosystems, 10:405-413.
- Peiretti U.D.A., M. C. Nazar L., C. A. Biasutti V. y L. M. Giorda L. 2007.** Susceptibilidad a *Fusarium Verticillioides* (SACC.) Nirenberg en la Población de Maíz MPB-FCA 856. Agronomía Mesoamericana 18(2):171-176.
- Peña R.A., F. González C., G. Núñez H. y C. Jiménez G. 2004.** Aptitud combinatoria de líneas de maíz para alta producción y calidad forrajera. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 27(1):1-6.
- Pioneer.** Investigación de Pioneer manejo de pudrición de tallos de maíz. 2009. Boletín técnico Pioneer. Pioneer Argentina. S.R.L., Provincia de Buenos Aires, Argentina.
- 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.
- Preciado O. R. E., A. D. Terrón I., N. O. Gómez M. y Robledo G. 2005.** Componentes genéticos en poblaciones heteróticamente contrastantes de maíz de origen tropical y subtropical. Agronomía Mesoamericana 16(2): 145-151.

- Presello D., Iglesias J., Fernández M., Fauguel C., G. Eyherabide G. y Lorea R. 2009.** Reacciones de cultivares a hongos productores de micotoxinas en maíz. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; estación experimental pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- Ramírez L. 2006.** Mejora de Plantas Alogamas. Universidad Pública de Navarra.
- Ramírez D. J.L., M. Chuela B., V. A. Vidal M., J. Ron P. y F. Caballero H. 2007.** Propuesta para formar híbridos de maíz combinando patrones heteróticos. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 30 (4): 453 – 461.
- Reyes, L.D., J.D. Molina G., M.A. Oropeza R. y E. del C. Moreno P. (2004).** Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27: 49-56.
- Rincón T.J.A., S. Castro N., J. A. López S., F. Briones E., J. Ortiz C., y J. Huerta A. 2008.** Modificación de características agronómicas en maíz tropical por efecto de selección bajo estrés hídrico. *Revista Fitotecnia Mexicana* Vol.31 (1): 81-84.
- Sahagún C. J. 2003.** Avance genético esperado para aptitud combinatoria. Modelo con alelos múltiples y probadores homocigóticos. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 26 (2): 123 – 130.
- Salazar Q. A. 2006.** Evaluación de veinte híbridos de maíz (*Zea Mays* L.) en cinco localidades de Nicaragua. Universidad Nacional Agraria Facultad de Agronomía.
- SENASA.** Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. *Fusarium Moniliforme*. 2011. Última Revisión.
- Sierra M., Márquez F., Valdivia R., Cano O. y A. Rodríguez F. 2000.** Aptitud combinatoria general y específica de líneas tropicales de maíz usando probadores. *Agronomía meso americana* 11(1):103-112.

**Sierra M. M., E. N. Becerra L., A. Palafox C., S. Barrón F., O. Cano R., A. Zambada M., Sandoval R. A. y J. Romero M. 2004.** Caracterización de híbridos de maíz (*Zea Mays* L.) con alta calidad de proteína por su rendimiento y tolerancia a pudrición de mazorca en el sureste de México. *Revista Mexicana de Fitopatología*. Vol. 22, numero 002 Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C. Ciudad Obregón, México. pp. 268-276.

**Singh R K, B D Chaudhary 1985.** *Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis*. Revised Edition. Kalyani Publishers. Ludhiana, New Delhi. 318 p.

**Silva C. P., E. Acebedo H. y H. Silva R. 2000.** *Manual de estudios y ejercicios. Laboratorio relación suelo-agua-planta*. Universidad de Chile Facultad de CS. Agronómicas.

**Tiessen F. A. 2009.** *Fundamentos y Metodologías Innovadoras para el Mejoramiento Genético de Maíz*. Primera edición versión 1.36. Editorial fundación Ciencia Activa ISBN: 978-970-95522-3-2.

**Turuel M.E., A. Biasutti C., C. Nazar M. y A. Peiretti D. 2008.** Efectos de aptitud combinatoria de vigor de plántula bajo estrés hídrico en maíz. *Agriscienta*, Vol. XXV (1): 27-34.

**Vergara A. N., S.A. Rodríguez H. y 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.

**Vivek B. S., F. Krivanek A., N. Palacios R., S. Twumasi A. y O. Diallo A. 2008.** Mejoramiento de maíz con calidad de proteína (QPM). Protocolo para generar variedades QPM. (CIMMYT).