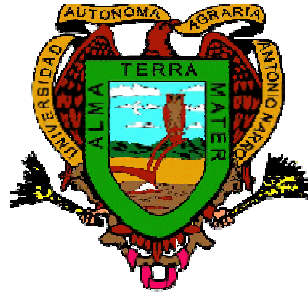


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISION DE AGRONOMIA**



**SELECCIÓN DE LINEAS ELITE DE TRIGO CON TOLERANCIA A SEQUIA  
A TRAVES DE SU RESPUESTA FISIOLÓGICA CON POLIETILEN-  
GLICOL**

**POR**

**MAGDA KARINA AGUILAR HERNÁNDEZ**

**TESIS**

**Presentada como Requisito Parcial para**

**Obtener el Título de:**

**INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México**

**Junio, 2011**

# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

## **DIVISION DE AGRONOMIA**

Selección de líneas elite de trigo con tolerancia a sequia a través de su respuesta fisiológica con polietilén-glicol

**POR**

Magda Karina Aguilar Hernández

Que se Somete a Consideración del H. Jurado Examinador como

Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

**INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA**

**A P R O B A D A**

---

**M. P. María Alejandra Torres Tapia**  
Asesor principal

---

**Dr. Víctor Manuel Zamora Villa**  
Asesor

---

**M. C. Modesto Colín Rico**  
Asesor

---

**M.C. Sofía Comparán Sánchez**  
Asesor

---

**Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo**  
Coordinador de la División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Junio, 2011

## DEDICATORIA

**A mi hija:** por ser tú la fuente de mi constante motivación, te amo gordita y nunca dejare de dar gracias a Dios por permitirme ser tu mamá.

**A mis padres:** por todo el amor y apoyo que me han brindado sobretodo a ti mami y gracias ser tú eres el pilar para nuestra familia y en especial para mí te amo.

**A mis hermanos:** José, Lorena, Delmar por apoyarme a cada momento y siempre han estado a mi lado aun en los momentos difíciles. Pero muy en especial a ti **Charis** porque sin tí esto hubiera sido posible, gracias flaquita por confiar en mi y por amar tanto a mi chaparrita.

**A mis sobrinos:** por la alegría y cariño que me demuestran y mas aún por todo amor que le dan a mi hija, Panchito gracias por considerar a mi Chalita como tu hermana te quiero mucho flaco.

## **AGRADECIMIENTOS**

Doy gracias a Dios por todas las bendiciones que me ha dado.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por abrirme sus puertas y permitirme alcanzar mi formación académica.

A la M.P. María Alejandra Torres Tapia por permitirme trabajar con ella en la elaboración de este proyecto, por la paciencia y dedicación que me brindo en las revisiones de este trabajo.

A la M.C. Sofía Comparan Sánchez por que como jefa de carrera siempre nos guió en nuestra formación académica, y ser una de mis asesores en este trabajo.

Al apoyo de mis asesores al Dr. Víctor Zamora Villa y al M.C. Modesto Colín Rico.

A la familia González López por hacerme sentir como de su familia desde el momento que los conocí, gracias doña Norma por todo el cariño que me ha brindado, siempre los recordare.

A mis amigos y compañeros que me brindaron su tiempo y amistad.

## INDICE DE CONTENIDO

Descripción	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general.....	3
Hipótesis.....	3
REVISION DE LITERATURA.....	4
Trigo .....	4
Importancia del trigo.....	4
La producción de trigo a nivel mundial.....	6
La producción de trigo a nivel nacional .....	6
Requerimientos edafoclimáticos .....	7
Sequía .....	8
Resistencia a sequía.....	9
Polietilen-glicol.....	10
Polietilen-glicol como potencial osmótico.....	11
Capacidad de marginación .....	12
Adaptaciones fisiologicas.....	12
Selección de materiales .....	14
MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
Ubicación del experimento.....	16
Material genético .....	16
Tratamientos .....	17
Preparación de las concentraciones de PEG 8000.....	17
Variables evaluadas .....	18
Diseño experimental .....	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
Capacidad de germinación.....	23
Vigor .....	32
CONCLUSIONES.....	42
LITERATURA CITADA.....	44

## Índice de Cuadros

No.	Descripción	Pág.
<b>Cuadro</b>		
3.1	Identificación de las diez variedades de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) estudiadas. ....	16
3.2	Identificación de los tratamientos aplicados a las diez líneas estudiadas. ....	17
3.3	Concentraciones de polietilén-glicol (PEG 8000) para la elaboración de los tratamientos evaluados en el presente trabajo.	17
4.1	Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para las variables de capacidad de germinación en condiciones de laboratorio. ....	23
4.2	Comparación de medias para variables de capacidad de germinación en condiciones de laboratorio. 2010.....	24
4.3	Comparación de medias en los tratamientos estudiados en las variables de capacidad de germinación en condiciones de laboratorio. 2010.....	25
4.4	Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza de las variables de vigor en condiciones de laboratorio. 2010.....	32
4.5	Comparación de medias en las líneas estudiadas sometidas a diferentes concentraciones de polietilén-glicol en las variables de vigor en condiciones de laboratorio. 2010.....	33
4.6	Comparación de medias en los tratamientos estudiados a los que se sometieron diferentes líneas en las variables de capacidad de germinación en condiciones de laboratorio. 2010.....	33

## Índice de Figuras

<b>No.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pág.</b>
<b>Figura</b>		
4.1	Respuesta del porcentaje de germinación en plántulas normales de 10 líneas élite de trigo forrajero en tres concentraciones de polietilén-glicol y un testigo con agua bajo condiciones de laboratorio. 2010.....	26
4.2	Respuesta de la capacidad de germinación en la interacción de líneas de diez líneas elite por tres tratamientos de polietilén-glicol y un testigo con agua en plántulas anormales.....	29
4.3	Respuesta de la interacción de diez líneas elite de trigo forrajero por tres tratamientos con polietilén-glicol y un testigo con agua en la variable semillas sin germinar.....	31
4.4	Respuesta de la interacción de diez líneas elite de trigo forrajero por tres tratamientos de polietilén-glicol y un testigo con agua en la variable del Índice de velocidad de emergencia.....	35
4.5	Respuesta de la interacción de diez líneas elite de trigo forrajero por tres tratamientos de polietilén-glicol en la variable Longitud media de radícula. ....	37
4.6	Respuesta de la interacción de diez líneas elite de trigo forrajero por tres tratamientos de polietilén-glicol en la variable la longitud media de plúmula. ....	39
4.7	Respuesta de la interacción de diez líneas elite de trigo forrajero por tres tratamientos de polietilén-glicol y un testigo con agua en la variable peso seco en condiciones de laboratorio.2010.....	41

## RESUMEN

La búsqueda de especies y variedades tolerantes al estrés por sequía constituye una de las vías considerada por los investigadores y productores para la explotación de las áreas en donde las sequías son frecuentes o no se cuenta con el suministro de agua necesario. Es por ello que se evaluó la calidad fisiológica en 10 líneas de trigo aplicando tres concentraciones de polietilén-glicol (PEG) y un tratamiento testigo con agua bajo condiciones de laboratorio.

Los tratamientos fueron 1.5 bars, -3 bars, -5 bars y el testigo, 50 semillas fueron colocadas en cajas petri en papel humedecido con la concentración correspondiente durante siete días, y posteriormente se evaluaron las plántulas normales (PN), plántulas anormales (PA), semilla sin germinar (SSG), longitud media de radícula (LMR), longitud media de plúmula (LMP) y peso seco (PS).

En el análisis de varianza de la calidad fisiológica se encontró significancia en las fuentes de variación con excepción de longitud media de plúmula y en peso seco, a medida que aumentó la concentración de polietilén-glicol aumentaron las SSG; la línea AN-344-92 superó a las plántulas de esta líneas que fueron tratadas con agua (T1) en la germinación y vigor, y las línea AN-358-92, AN-360-92 y AN-361-92 fueron las más afectadas por la sequía provocada por el polietilén-glicol.

Las concentraciones tuvieron un efecto positivo en la tasa de crecimiento de plántula (PS) y un efecto negativo en semillas sin germinar.

**Palabras clave:** Trigo, Polietilen-glicol, Resistencia, Sequia



## INTRODUCCIÓN

El trigo ha formado parte del desarrollo económico y cultural del hombre, siendo el cereal más cultivado. Es considerado un alimento para consumo humano, aunque gran parte se destina a la alimentación animal, así como a subproductos de la transformación industrial. La propiedad más importante del trigo es la capacidad de cocción de la harina debida a la elasticidad del gluten que contiene.

Según estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la producción mundial de trigo aumento más o menos en un 1.3 por ciento anual durante el período de proyecciones a 679 millones de toneladas. Ello representaría un incremento de aproximadamente 12 millones de toneladas en el 2010.

En México, junto con el maíz son los cereales más consumidos, tanto en forma directa como en productos que los contienen. En los últimos años, la demanda de trigo se ha incrementado entre otros; a la producción de pan, tortillas y cereales para desayuno.

La producción total mexicana de trigo durante la década final del siglo XX (1991-2000) fue de 35.7 millones de toneladas, concentrándose en los estados de Sonora, Guanajuato, Baja California, Sinaloa, Michoacán y Jalisco (SAGARPA, 2000). Lo anterior se debió a que a partir de 1985, se obtuvo la producción record de 5 millones de toneladas, se registró una reducción paulatina en el volumen de trigo cosechado en las regiones en las que se siembra bajo condiciones de riego (Villaseñor *et al*, 2007). Algunas causas se debieron a la persistente escasez de agua, el ataque de enfermedades al cultivo e incremento en el costo de producción, entre otras (Villaseñor, 2000a).

Seguido, aún en el norte de Sinaloa, se ha incrementado hacia el sur del estado el área con condiciones anormalmente secas y la sequía moderada se intensificó a

sequía severa sobre la costa norte. En el noreste de sequía han mejorado un poco ya que se reporta un cambio de sequía severa a moderada principalmente en Coahuila, el Norte de Tamaulipas y Nuevo León. Coahuila por ejemplo, registró una precipitación casi del doble de lo normal, mientras que en Tamaulipas permanecen las condiciones anormalmente secas, con sequía moderada y severa en la costa, sin embargo se observa un incremento en el área con sequía severa. Las condiciones desde anormalmente seco hasta sequía moderada permanecen sin cambios aparentes sobre la región Centro-Occidental, como se ha mencionado en los últimos reportes del Monitor de Sequía de América del Norte, otro dato es que el incremento en los niveles de almacenamiento en algunas presas de la región sobre todo las ubicadas en el Estado de México y Michoacán, a pesar de ello la sequía continúa ocasionando impacto hidrológico (CONAGUA, 2010).

Sin embargo el mejoramiento de las técnicas de cultivo y la selección genética nos conduce a un incremento considerable a sus rendimientos (Kent, 1983). El mejoramiento genético de trigo en México se inicio a través de la selección de los mejores tipos de plantas dentro de los cultivares (Villaseñor 2000).

En los estudios de laboratorio, el déficit hídrico se puede simular mediante el uso de soluciones con potenciales hídricos definidos. Un método sencillo, que no requiere de equipos especializados para identificar semilla de buena calidad y que permite a la vez evaluar el efecto del estrés salino y de sequia, es el empleo de compuestos o productor comerciales para simular bajo condiciones de laboratorio el estrés, los productos que se utilizan son: sulfato de sodio y cloruro de potasio para simular el estrés salino; y manitol, polietilén-glicol y cloruro de sodio entre otros para simular sequia (Martínez *et al.*, 2002, Méndez *et al.*, 2002). Con esto ayuda a la identificación de semillas resistentes a estrés, la identificación de genotipos con altos porcentajes de germinación bajo estrés puede mejorar el vigor de la plántula, el establecimiento en el campo y su competitividad (Willenborga *et al.*, 2005).

El Programa de Cereales del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ha generado y seleccionado a lo largo de 10 años, líneas con características de tolerancia o resistencia a la sequía con la finalidad de dar alternativas a los pequeños agricultores en estas zonas devastadas o con cambios en sus condiciones climáticas, para ello es necesario conocer su respuesta o comportamiento bajo condiciones de estrés hídrico mediante germinación y vigor de la semilla con la finalidad de seleccionar la mejor o las mejores y tener alternativas en la actualidad ante el gran problema al que se enfrenta la agricultura en México. En el presente trabajo se planteó el siguiente objetivo e hipótesis:

### **Objetivo general**

- Evaluar la respuesta fisiológica de semillas de diez líneas élite de trigo con tolerancia a sequía en diferentes concentraciones de polietilén-glicol mediante su capacidad de germinación y vigor en condiciones de laboratorio.

### **Hipótesis**

- Al menos una de las líneas estudiadas tiene una mejor respuesta en la capacidad de germinación y vigor en una concentración de polietilén-glicol y considerarla como tolerante a zonas con condiciones de sequía moderada o severa.

## REVISION DE LITERATURA

### Trigo

(*Triticum spp*) es el término que designa al conjunto de cereales, tanto cultivados como silvestres, que pertenecen al género *Triticum*; son plantas anuales de la familia de las gramíneas, ampliamente cultivadas en todo el mundo. La palabra trigo designa tanto a la planta como a sus semillas comestibles, tal y como ocurre con los nombres de otros cereales.

El trigo es uno de los tres cereales más producidos globalmente, junto al maíz y el arroz, y el más ampliamente consumido por el hombre en la civilización occidental desde la antigüedad. El grano del trigo es utilizado para hacer harina, harina integral, sémola, cerveza y una gran variedad de productos alimenticios.

La palabra «trigo» proviene del vocablo latino triticum, que significa 'quebrado', 'triturado' o 'trillado', haciendo referencia a la actividad que se debe realizar para separar el grano de trigo de la cascarilla que lo recubre. Triticum significa, por lo tanto, "(el grano) que es necesario trillar (para poder ser consumido)"; tal como el mijo deriva del latín milium, que significa "molido, molturado", o sea, "(el grano) que es necesario moler (para poder ser consumido)". El trigo (triticum) es, por lo tanto, una de las palabras más ancestrales para denominar a los cereales (las que se referían a su trituración o molturación).

### Importancia del trigo

Los cereales han sido considerados la fuente de nutrientes más importante de la humanidad. Constituyen un producto básico en la alimentación de los diferentes pueblos, por sus características nutritivas, su costo moderado y su capacidad para

provocar saciedad inmediata. Los cereales más utilizados en la alimentación humana son el trigo, arroz y el maíz, aunque también son importantes la cebada, centeno y avena.

Los granos de cereales contienen un 60% a 70% de almidón y son excelentes alimentos ricos en energía para los seres humanos. Los médicos recomiendan los cereales como el primer alimento que se añade a la dieta de lactantes y la evidencia de la investigación confirma que la dieta saludable para los adultos debería tener la mayoría de sus calorías en forma de hidratos de carbono complejos, tales como almidón de cereales. Incluso en países, como Reino Unido, donde hay una amplia variedad de alimentos diferentes disponibles, la gente utiliza una gran cantidad de su energía alimentaria a partir de cereales o alimentos que contienen almidón.

El trigo es muy importante en la dieta alimentaria del pueblo mexicano, pues es la base para la elaboración de productos que se consumen en grandes volúmenes tales como el pan, tortillas, pastas, galletas, pasteles, cereales para desayuno, entre otros. El trigo contiene nutrientes y valor energético en mayor cantidad que el resto de los cereales y nutricionalmente solo es comparable con la avena (Falcon *et al*, 2009).

Según el Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2006), México es considerado el principal productor de trigo de América Central y el Caribe. La forma de consumo humano del grano de trigo no se realiza directamente, sino que es sometido a un proceso de molienda con la finalidad de obtener harina y algunos subproductos como son el salvado y semilla, los cuales son de gran importancia por ser una de las mejores fuentes de fibra dietaria.

## **La producción de trigo a nivel mundial**

El trigo se considera el cereal más importante dentro de los cereales cultivados, ya que constituye un alimento básico para la población mundial (Ortega y Reina 2005). El trigo (*Triticum spp* L.) es el alimento que más se cultiva a nivel mundial ocupando alrededor de 240 millones de ha. (Curtis, 2002).

A nivel mundial la mayor producción se da en Asia, Europa incluyendo los países del este, y en tercer lugar en América del Norte y Central. Los países de la Europa comunitaria ocupan el tercer puesto en producción a nivel mundial con 80806 miles de toneladas, siendo Francia el mayor productor con 29.324 miles de toneladas seguido por Alemania con 15.520 miles de toneladas y por Reino Unido con 12.573 miles de toneladas. En cuanto a rendimientos, en primer lugar está Holanda con 8540 Kg/ha seguidos de Dinamarca y Bélgica (FAO, 1993).

La producción mundial de trigo en el periodo 2003-2004 llegó a los 550.5 millones de toneladas, según el Departamento de Agricultura de los EUA (USDA) y para este período fue comercializado en el mercado internacional cerca de 7,176 millones de toneladas. De esta forma el comercio internacional de trigo representó en su totalidad el 19.2% de la producción mundial (Brum, *et al*; 2005).

Según estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la producción mundial de trigo aumentó más o menos en un 1,3 por ciento anual durante el período de proyecciones a 679 millones de toneladas. Ello representaría un incremento de aproximadamente 12 millones de toneladas en el 2010.

## **Producción de trigo a nivel nacional**

La producción total mexicana de trigo durante la década final del siglo XX (1991-2000) fue de 35.7 millones de toneladas, concentrándose en los estados de Sonora, Guanajuato, Baja California, Sinaloa, Michoacán y Jalisco (SAGARPA).

Lo anterior se debió a que a partir de 1985. Año en el que se obtuvo la producción record de 5 000 000 de toneladas, se ha registrado una reducción paulatina en el volumen de trigo cosechado en las regiones en las que se siembra bajo condiciones de riego (Villaseñor *et al.*2007).

La producción de trigo en México se concentra principalmente en las regiones del Bajío y el noreste de México. En la región del bajío que incluye los estados de Guanajuato, Michoacán y Jalisco, se produce el 27% del trigo que se produce en el país; mientras que la región noroeste que incluye los estados de Sonora, Sinaloa y Baja California, se produce el 57% del total que se produce en el país (Muñoz, 1999).

El cultivo de trigo en México, en condiciones de riego en el ciclo otoño- invierno, aporta el 94% de la producción nacional, principalmente en los estado de Sonora, Baja California Sur y Guanajuato, mientras que el resto se produce en áreas de temporal en ciclos de primavera verano en los estados de Tlaxcala. Estado de México (SAGARPA 2004).

### **Requerimientos edafoclimáticos**

Es importante conocer las características climáticas de la zona, del suelo y su manejo y del manejo del cultivo para definir el plan de fertilización (García 2010).

La temperatura ideal para el crecimiento y desarrollo del cultivo de trigo está entre 10 y 24 °C, pero lo más importante es la cantidad de días que transcurren para alcanzar una cantidad de temperatura denominada integral térmica, que resulta de la acumulación de grados días. La integral térmica del trigo es muy variable según la variedad de que se trate. Como ideal puede decirse que los trigos de otoño tienen una integral térmica comprendida entre los 1.850 °C y 2.375 °C.

El trigo requiere suelos profundos, para el buen desarrollo del sistema radicular. Al ser poco permeables los suelos arcillosos conservan demasiada humedad durante los inviernos lluviosos. El suelo arenoso requiere, en cambio, abundante lluvia

durante la primavera, dada su escasa capacidad de retención. En general se recomienda que las tierras de secano dispongan de un buen drenaje.

El trigo prospera mal en tierras ácidas; las prefiere neutras o algo alcalinas. También los microorganismos beneficiosos del suelo prefieren los suelos neutros o alcalinos.

### **Sequía**

Los dos principales factores ambientales que actualmente reducen la productividad de la planta son la sequía y la salinidad (Muhammad, et al. 2006). Desde el punto de vista geográfico interesan las sequías por sus impactos, y las áreas de influencia pueden elegirse de acuerdo a criterios físicos (climáticos) y/o económicos. Desde un punto de vista agronómico se observa sequía cuando el nivel de almacenaje del agua en el suelo ha bajado lo suficiente como para afectar el desarrollo o mantenimiento de una planta. En algunos casos, esta falta de agua es tan importante en periodos críticos de un cultivo (Doorenbos y Pruitt, 1976), que genera una disminución de los rendimientos en el momento de la cosecha o baja de productividad.

Sin embargo, es frecuente la presencia de sequía con intensidad desde media a severa, por atraso del establecimiento de las lluvias (sequía temprana), o bien, por sequía intraestival. Se estima que aproximadamente en cuatro de cada diez años se presentan ciclos agrícolas entre limitativos y desastrosos para la producción agrícola (Esquivel, 1990; Turrent *et al* 1994). En esos años, la sequía temprana puede prolongarse hasta el inicio de floración.

La región templada semiárida y árida del centro norte de México (RETSACEN), abarca el estado de Aguascalientes, gran parte de Durango, Zacatecas, San Luis Potosí y Guanajuato, así como partes del norte de Jalisco y el Sur de Coahuila (Luna y Gutiérrez, 2000). Los cultivos están con frecuencia expuestos al estrés por sequía. La incidencia de factores adversos se ha incrementado debido al cambio



climático, al desplazamiento de los cultivos hacia ambientes desfavorables con bajo potencial productivo, a la introducción de otros cultivos mas rentables y a la disminución de la fertilidad del suelo, entre otras causas (Banzinger *et al.*, 2000).

El estrés hídrico es en cuanto a la cantidad de materia vegetal afectada, el más importante que puede sufrir las plantas. En tal sentido, diversos autores (Morgan, 2004; Frahm *et al.*, 2004, Machado, 2004 y Mukandama, 2005) han indicado que el estrés provocado por la sequia limita la productividad de las plantas y la intensidad de su respuesta depende de la severidad y duración del mismo, así como del estado de desarrollo del cultivo. El síntoma más típico de las carencias de agua en las plantas superiores es un retraso en el crecimiento debido a la inhibición de la elongación de la célula por el agua de prescripción (Nieman, 1965).

Akers y Kevin (1986) mencionan que una semilla no germina debido a que los procesos potenciales hídricos de la semilla y de la solución sometida se equilibran; por lo que, al dejar de penetrar el agua al interior de la semilla, se detienen los procesos metabólicos que completan la germinación y esta no ocurre. La semilla con óptima calidad debe germinar rápida y uniformemente bajo condiciones ambientales; de no ser así, se deben utilizar técnicas que mejoren tales características, como el acondicionamiento osmótico, que consiste en someter la semilla a un proceso de hidratación controlada en una solución osmótica para activar su metabolismo, sin que ocurra la protusión de la radícula (Parera y Cantliffe, 1994; Mora *et al.*, 2004).

### **Resistencia a sequía**

En la década de los cuarenta se inicio el mejoramiento formal y continuo en nuestro país, que arrojó beneficios como lograr la autosuficiencia en 1957 y alcanzar en 1985 la producción que paso los cinco millones de toneladas (Villaseñor, 2000).

La búsqueda de especies y variedades tolerantes al estrés de sequía constituye una de las vías considerada por los investigadores y productores para la explotación de las aéreas en donde las sequías son frecuentes o no se cuenta con el suministro de agua necesario (Kirigwi et al., 2004). La capacidad de una planta para mantener su estado hídrico a medida que el potencial hídrico del suelo disminuye, constituye una adaptación al déficit hídrico (Acevedo *et al.* 1998).

El mejoramiento genético para resistencia a sequía representa una de las mejores alternativas para incrementar la productividad de frijol bajo esas condiciones de producción (Frahm *et al.*, 2003). Una mejor adaptación de los genotipos de frijol al déficit hídrico del suelo ayudará, a la estabilidad y a la ampliación de la producción en entornos propensos a la sequía, por lo que requerirá menos agua para el riego y en consecuencia contribuirían a la conservación de este recurso natural, Raó (2000).

La tolerancia a estrés por sequía ha sido asociada a mayor capacidad para extraer agua del suelo. Una mayor capacidad para profundizar raíces en el perfil del suelo puede proveer a un genotipo una mejor adaptación a condiciones de estrés hídrico (White y Castillo, 1989).

### **Polielilén-glicol**

El polielilén-glicol (PEG) es un poliéter ampliamente empleado en la industria. Algunos trabajos realizados utilizando polielilen-glicol son los siguientes: Fabre *et al.* (2006) utilizaron el polielilén-glicol como método alternativo para realizar el screening de macroprolactina para establecer un valor de corte para determinar la presencia de MPRL, del cual permitió establecer un valor de corte al 50% al precipitar con PEG.

El polielilén-glicol puede ser empleado para el atrapamiento de glucosa plasmática o para el desarrollo de sistemas terapéuticos de liberación mediada por esta sustancia endógena, en terapias de diabetes ensilinodependientes. (Oral y

Peppas, 2004). Martínez (2004) utilizó el polietilén-glicol como agente estabilizador para mejorar la estabilidad dimensional en el Quebracho blanco *Aspidosrperma quebracho blanco* y se dio cuenta que con la utilización de polietilen-glicol es posible mejorar la estabilidad dimensional, lo que posibilita el uso del quebracho para su uso en productos de mayor valor añadido.

### **Polietilén- glicol como potencial osmótico**

Henckel *et al.* (1970) describieron una técnica de laboratorio para el diagnóstico precoz de grados de resistencia de las plantas a la sequía y a la salinidad, que constituye una herramienta útil para seleccionar y descartar potencialidades de resistencia de muchas variedades a la vez, sin necesidad de su evaluación en condiciones de campo. La técnica se basa en la correlación existente entre el grado de resistencia a cualquier factor estresante del ambiente y la velocidad de hidrólisis de los amilosilatos en el ápice de las raíces.

Heydercker *et al.* (1973) desarrollaron una técnica que consiste en la preimbibición de las semillas en soluciones de un agente osmótico bioquímicamente inerte (preferentemente polietilen-glicol), durante cierto tiempo antes de transferir las mismas a agua, con o sin deshidratación previa. Estos tratamientos se conocen como acondicionadores de semillas o “seed priming” (Heydecker *et al.*, 1973), revigorizantes de semillas o “seed reinvigoration” (Heydecker *et al.*, 1975) y osmoacondicionadores de semillas o “seed osmoconditioning” (Khan *et al.* 1978, Khan 1992).

Sánchez *et al.* (2007) evaluaron el efecto del acondicionamiento osmótico sobre la calidad fisiológica de cebolla después de cuatro periodos de almacenamiento. De la cual los agentes de osmoacondicionamiento utilizados, el PEG-8000 a -5atm durante 48 y 72h mostró mayor calidad fisiológica de la semilla. Sánchez *et al.* (2007) evaluaron el efecto del acondicionamiento osmótico sobre la calidad fisiológica de semillas de tomate de cascara, con esto se mejoró la calidad

fisiológica de semillas. Se determinó el mejor tratamiento de acondicionamiento osmótico y su efecto de la calidad fisiológica en semillas de brócoli, coliflor y col a soluciones de polietilén-glicol 6000 bajo diferentes potenciales osmóticos. El acondicionamiento osmótico con solución de polietilén-glicol 6000 no afectó significativamente la calidad fisiológica de la semilla de Brassica oleracea (Mora *et al.* 2006)

### **Capacidad de germinación**

La germinación de la semilla es un aspecto central de la fase regenerativa de las plantas de vital importancia para el mantenimiento y recuperación de sus poblaciones (Rees, 1997). Cada especie posee un determinado conjunto de condiciones que posibilita que se desencadenante el proceso de germinación (Bewley and Black, 1986). En este sentido a la temperatura, la luz y la humedad del suelo aparecen como principales factores bioclimáticos reguladores de dicho proceso (Bewley and Black, 1986; Bell *et al.*, 1995; Pons ,2000; Probert, 2000). Este proceso se lleva acabo cuando el embrión se hincha y la cubierta de la semilla se rompe. Para lograr esto, toda nueva planta requiere de elementos básicos para su desarrollo: luz, agua, aire y sales minerales que el vegetal encuentra en su entorno.

### **Adaptaciones Fisiológicas**

La germinación comienza cuando en la semilla aletargada o en reposo, se activa la maquinaria bioquímica conservada y se desencadenan los procesos metabólicos, la iniciación de la germinación comienza con la ruptura del letargo y

los acontecimientos suceden luego de tras la imbibición. La hidratación es una condición indispensable en la semilla seca, para la activación del metabolismo y la subsiguiente germinación. La absorción de agua está relacionada con el alargamiento de las células y la aparición de la radícula (Besnier 1989), además de estar asociada directamente con las células ya que se debe al mayor potencial osmótico de la raíz con respecto al suelo, que ocurre cuando las células dejan de estar turgentes (Rojas 2003).

Algunos autores han observado que el precondicionamiento de las plántulas por estrés también puede incrementar el potencial de formación de raíces (Rook 1973; Ali-abod y Sandi, 1983; Aussenac y El Nour, 1985; Van Den Driessche, 1992), factor que frecuentemente se ha relacionado con el desarrollo (supervivencia y crecimiento) de las plántulas en campo (Ritchie y Dunlap, 1980; Burdett *et al.*, 1983; Burdett, 1987; Simpson *et al.*, 1994), mientras que otros, registraron solamente variaciones en la elasticidad de las paredes, pero no ajustes osmóticos (Stewart y Lieffers, 1993).

Se ha concentrado más en la respuesta aérea de la planta a estrés por sequía que en la radicular, debido a las dificultades en la observación de las raíces en el campo (Huang y Gao, 2000). Sin embargo, las raíces son importantes para mantener la absorción de agua en suelos secos como característica de adaptación (Turner, 1979; Huang y Gao, 2000). Raíces profundas y extensión de estas en la profundidad del suelo son fundamentales para el comportamiento de los cultivos en limitaciones de suministro de agua si existe agua disponible en perfiles profundos del suelo (Sponchiado *et al.*, 1989; Blum, 2002).

Ho *et al.* (2005) sugieren que un superficial y abundante sistema radical es más efectivo en la absorción de nutrientes en los primeros 20 cm del suelo donde los nutrientes están concentrados, mientras que raíces profundas favorecen la adquisición de agua y la resistencia a sequía. La producción de raíces finas puede ser una estrategia para permitir la adquisición de agua y la entrada de minerales

cuando el agua en el suelo es limitada; las raíces finas “son económicas de construir”, pero son esenciales para la adquisición de agua y nutrientes debido a su alta área superficial por unidad de masa (Eissenstat, 1992; Huang y Fry, 1998).

Rojas (2003) se dio cuenta que el ABA se incrementa considerablemente solo en líneas resistentes a estrés hídrico, como lo observo en líneas de maíz. El ABA se sintetiza primordialmente en la raíz y se transporta a las hojas, donde actúa sobre la permeabilidad a los iones  $K^+$ ; aumenta el potencial osmótico, y asociado con una enzima, que afloja la pared celular, permite la hidratación; ambos efectos confluyen en la mayor turgencia celular. En líneas de maíz con concentraciones altas de ABA no hubo daño celular después de siete días de sequía.

### **Selección de materiales**

Los problemas con el establecimiento en las semillas de trigo de temporal están relacionados con la calidad de la semilla, motivo por el cual se lleva a cabo una selección de los mejores materiales.

A través de un proceso de selección, los agricultores identificaban los mejores tipos de plantas o semilla, Jaspeado (1900) se refiere a la selección de una planta de trigo sobresaliente dentro de un cultivar, por su tipo y número de espigas, la cual fue trillada individualmente. Gutiérrez *et al.* (2006) refiere que el peso de mil semillas es un parámetro fundamental para seleccionar variedades con buena calidad física y fisiológica.

En el proceso de control de calidad de semillas se utilizan varias pruebas para determinar el valor de las semillas para ser sembradas. La prueba de germinación Estándar es la técnica más empleada a nivel nacional e internacional para establecer la calidad de los lotes de semillas.

En la realización de la prueba se emplean recipientes que contienen diferentes sustratos como por ejemplo arena, papel, suelo, compost, vermiculita, etc. Estos medios de crecimiento tienen la función de contener la cantidad de agua suficiente

para asegurar la germinación de las semillas y emergencia de las plántulas (Craviotto *et al.* 2006).

La capacidad de germinación es importante porque una proporción de todos los granos cultivados puede ser retenida para semilla y una reducción en la capacidad de germinación refleja daños al sistema bioquímico dentro del grano y puede ser un indicador relacionado con mediciones de calidad para otros usos finales (Gutiérrez *et al.* 2006).

Los atributos de pureza genética, sanidad y calidad física y fisiológica de la semilla son importantes para las siembras de temporal o de áreas de escasa humedad. La calidad física se evalúa mediante las variables de peso de mil semillas, tamaño de semilla, peso volumétrico y pureza física (Moreno, 1984); también puede caracterizarse con base en el peso hectolítrico, prueba de flotación, dureza NIR (near infrared reflectance), densidad de grano y relación de molienda (Dios *et al.*, 1992). La calidad fisiológica y, en particular el vigor de semilla, se asocia con la tasa y uniformidad de la germinación, crecimiento de plántula y adaptación en campo; el vigor de semilla se define como la sumatoria de propiedades que determina el nivel de actividad y el comportamiento durante la germinación y emergencia de las plántulas (ISTA, 1999). El primer componente de la calidad fisiológica que muestra señales de deterioro es el vigor de las semillas, seguido de una reducción en la germinación o de un mayor porcentaje de plántulas anormales (Ferguson, 1995).

## MATERIALES Y METODOS

### Ubicación del experimento

La evaluación de la calidad de la semilla se realizó en el Laboratorio de Producción de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Granos y Semillas (CCDTS), del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, la cual está ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, con una latitud norte de 25° 22', una longitud Oeste 101° 00', a una altitud de 1742 msnm.

### Material genético

Se utilizaron diez variedades de trigo de líneas experimentales, proporcionadas por el Programa de Cereales de la UAAAN y producidas en el ciclo Enero –Junio 2009 en la localidad Navidad, Nuevo León. Los materiales se identificaron como se muestra en el Cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1 Identificación de las diez variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) estudiadas.**

<b>Material genético</b>	<b>Identificación</b>
AN-343-92	1
AN-344-92	2
AN-345-92	3
AN-348-92	4
AN-355-92	5
AN-357-92	6
AN-358-92	7
AN-360-92	8
AN-361-92	9
AN-363-92	10



## Tratamientos

Se empleo un tratamiento para inducir estrés hídrico el cual consto de polietilén-glicol (PEG), se utilizaron cuatro potenciales hídricos a -1.5, -3.0 y -5.0 bares, además de un testigo absoluto; en el siguiente Cuadro 3.2, aparece su identificación de los tratamientos.

**Cuadro 3.2 Identificación de los tratamientos aplicados a las diez líneas estudiadas.**

<b>Concentración</b>	<b>PEG 8000</b>
	<b>(g/200 ml)</b>
Testigo	T1
1.5	T2
-3.0	T3
-5.014	T4

### Preparación de las concentraciones de PEG 8000

Las cantidades de soluto requerido para la preparación de las diferentes concentraciones de PEG 8000 disueltas en 200 ml de agua destilada, se presenta en el Cuadro 3.3.

**Cuadro 3.3 Concentraciones de polietilén-glicol (PEG 8000) para la elaboración de los tratamientos evaluados en el presente trabajo.**

<b>Concentración</b>	<b>PEG 8000</b>
<b>(Bares)</b>	<b>(g/200 ml)</b>
1.5	31
-3.0	82.5
-5.014	100

## **Variables evaluadas**

### **Capacidad de germinación**

Se realizaron cuatro repeticiones por cada material y tratamiento, sembrando cincuenta semillas por repetición sobre papel filtro Watman no.1, humedecido con el tratamiento y concentración correspondiente en cajas petri de vidrio de 18 cm de diámetro identificadas por repetición, material y concentración (potencial hídrico); posteriormente se llevaron a una cámara germinadora de marca Biotronette mark a una temperatura de 25 °C con ocho horas luz y dieciséis horas de obscuridad por siete días, al cuarto día se realizó un primer conteo evaluando el número de plantas normales considerado como vigor, seguido de otro conteo a los siete días dado como el conteo final determinando el número de plantas normales (PN) y además, evaluando las plántulas anormales (PA) y semilla sin germinar (SSG), descritos en el manual de la Association of Official Seed Analysis (AOSA, 1992).

### **Plántulas normales**

Aquellas plántulas que presentan las estructuras esenciales bien desarrolladas e indicativas de su habilidad para producir plántulas normales bajo condiciones favorables (Moreno, 1996), las estructuras son las siguientes:

- Sistema radicular bien desarrollado, incluyendo raíz primaria, excepto para aquellas plantas, por ejemplo gramíneas, que presentan raíces seminales, de las cuales deben estar presentes cuando menos dos de ellas.
- Plúmula intacta en las gramíneas, que deben presentar una hoja verde bien desarrollada dentro o emergiendo del coleoptilo y un cotiledón.

- Pueden presentar una combinación de estructuras esenciales como sistema de raíz bien desarrollado, sistema apical bien desarrollado, número específico de cotiledones, hojas verdes y expandidas, brote terminal, y ápice, coleoptilo rígido y bien desarrollado.
- Aquellas que presentan ligeros defectos en las estructuras anteriores o cierto retardo, sin que esto limite su crecimiento y desarrollo y revelen un desarrollo vigoroso balanceado.
- Aquellas que estén invadidas o dañadas por hongos y bacterias siempre y cuando sea evidente que la fuente de infección no es la semilla y presenten las estructuras esenciales.

### **Plántulas anormales**

Las que no pueden clasificarse como normales por tener alguna deficiencia y desarrollo de sus estructuras esenciales, lo que les impide su desarrollo normal cuando crece en suelo preparado y en condiciones favorables de agua, luz y temperatura; que pueden presentar una combinación de sus defectos en sus estructuras esenciales que limitan la continuación de su crecimiento y desarrollo estos defectos son bien marcados y varían según las especies.

### **Semillas sin germinar**

Estas semillas se registran al final de la prueba. Siendo aquellas que presentaron incapacidad para germinar, por diferentes causas como lo pueden ser las siguientes:

- Semillas duras: son aquellas que permanecen duras al final de la prueba de germinación, ya que no absorben porque tienen cubierta impermeable.
- Semillas latentes: se denomina a las semillas viables (diferentes de las semillas duras) que no germinan aun cuando estén bajo las condiciones que se especifican para dicha especie.

- Semillas muertas. Son aquellas que no germinan y que no clasifique como latentes y duras, deberán ser consideradas como semillas muertas. No muestran ningún signo de desarrollo y comúnmente están flácidas, decoloradas y con presencia de hongos.

## **Vigor**

### **Índice de velocidad de emergencia**

Manguire (1962) considera que la velocidad de emergencia es uno de los conceptos mas relacionados con el vigor de la semilla y permite diferenciar bien a los materiales con diferente vigor, por lo que la selección para esta característica puede ser un buen criterio de evaluación (Lanfond y Baker.1986). Para la determinación del IVE se utilizo la siguiente fórmula:

$$\text{IVE} = \frac{\text{Numero de plántulas normales}}{\text{Día 1 de conteo}} + \dots + \frac{\text{Numero de plántulas normales}}{\text{Día final del conteo}}$$

### **Longitud media de plúmula**

Después de colocar cincuenta semillas en cajas petri sobre papel filtro con el respectivo tratamiento y concentración, y que posteriormente fueron llevadas la cámara de germinación a 25°C con ocho horas luz y dieciséis horas oscuridad. Se evaluaron a los siete días después de la siembra registrando el número de plantas normales, y midiendo las plúmulas de éstas con una regla graduada en forma independiente.

### **Longitud media de radícula**

Esta variable se determinó considerando las plántulas normales resultantes de cada repetición y material de la prueba anterior, midiendo la longitud de raíz en centímetros con la ayuda de una regla graduada en forma independiente.

### **Tasa de crecimiento de plántula (Peso Seco- PS)**

De las plantas normales resultantes de cada repetición por tratamiento y genotipo una vez evaluadas, se colocaron 10 plantas por repetición en una bolsa de papel manila y fueron llevadas a la estufa de secado a una temperatura de  $65 \pm 1^\circ\text{C}$  durante 24 horas. Transcurridas éstas, se enfriaron en el desecador con silica y posteriormente se pesaron en una balanza adventure-pro con 0.001 g de precisión, obteniendo el peso de las plántulas en gramos. La tasa de crecimiento se calculó en base al peso seco de las plántulas en mg dividido entre el número de plántulas normales en cada repetición.

### **Diseño Experimental**

#### **Análisis estadístico**

Los datos obtenidos se analizaron con el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS) en parcelas divididas con arreglo completamente al azar, bajo el modelo siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + E_i + P_j + E_{ijk}$$

Donde

$Y_{ijk}$ = Variable observada

$\mu$ = Efecto de la media general del experimento

$E_i$ = Efecto de la i-esima línea

$P_j$ = efecto de la j-esima presión osmótica

$E_p$ = Efecto de la interacción de la i-esima línea con la j-ésima presión osmótica

$E_{ijk}$ = Error experimental.

#### **Comparación de medias**

Se utilizó la prueba de la diferencia mínima significativa, la cual según Steel y Torrie, 2010 se calcula mediante:

$$DMS = (t_{\alpha/2, g. l. EE}) (\sqrt{2 \text{ CMEE}/r})$$

Donde:

CMEE= Cuadro medio de error

$r$ = Numero de observaciones usadas para calcular un valor medio.

$\alpha$ = Nivel de significancia

g.l.EE.= Grados de libertad del error experimental.

$T$ = Valor tabular que se usa en la prueba, con los grados de libertad del error y el nivel de significancia.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Capacidad de germinación

#### Plántulas normales (PN)

El análisis de varianza (ANVA) mostró que existe una diferencia significativa entre las líneas experimentales, altamente significativa para las concentraciones de polietilén-glicol y en la interacción entre ellos, con un coeficiente de variación de 19.44% como se puede observar en el Cuadro 4.1, marcando que existió al menos en una línea en alguna concentración de polietilén-glicol con una respuesta diferente en la germinación (porcentaje de plántula normal).

**Cuadro 4.1 Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para las variables de capacidad de germinación en condiciones de laboratorio.**

Fuente de variación	Grados de libertad	Plántulas Normales	Plántulas Anormales	Semillas sin germinar
Líneas	9	627.18056*	139.1666*	559.733**
Tratamientos	3	25341.7583**	3062.700**	19911.466**
Línea x Tratamiento	27	988.4602**	108.9962*	989.022**
Error	120	155.1083	64.8166	179.6833
% C.V.		19.44	49.16	69.45

\* y \*\* = Significativo y altamente significativo al 5% y 1% de probabilidad respectivamente..

Con respecto a la prueba de comparación de medias realizada entre las líneas estudiadas, se encontró que la línea AN-345-92 resultó tener el mayor porcentaje de plántulas normales con 78.5 %, seguidos de AN-344-92 y AN-355-92 (67.6 y 69 % respectivamente); mientras que el resto de las líneas se comportaron de manera similar entre ellas estando en el mismo grupo estadístico, desde 57.9 a

63.8% siendo AN-360-92 el que resultó con el valor más bajo en esta variable (Cuadro 4.2).

**Cuadro 4.2 Comparación de medias para las variables de capacidad de germinación en condiciones de laboratorio. 2010**

Líneas	Plántulas Normales %	Plántulas Anormales %	Semillas sin germinar %
AN-343-92	62.4 b	17.1 a	21.8abc
AN-344-92	67.6ab	11.4 a	21 abc
AN-345-92	78.5 a	14 a	7.8 c
AN-348-92	58.1 b	15.8 a	26.3 a
AN-355-92	69 ab	20.4 a	10.4 bc
AN-357-92	62.6 b	14.8 a	20.1 abc
AN-358-92	61.3 b	19.9 a	17.8 abc
AN-360-92	57.9 b	20 a	21.9 abc
AN-361-92	59.5 b	15 a	24.9 a
AN-363-92	63.8 b	15.5 a	21.3 abc

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales

En la prueba de comparación de medias para tratamientos, se encontró que el tratamiento 1 quien fue el testigo con agua presentó los mayores valores de germinación en todas las líneas, seguido de tratamiento 2 (1.5 bares), el tratamiento 3 (-3 bares), y por último el tratamiento 4 (-5 bares) como se muestra en el Cuadro 4.3.

Marcando un efecto negativo por la presión osmótica resultante en algunas líneas donde a mayor presión osmótica dada, decrecía el porcentaje de plántulas normales siendo la concentración de -5 bares la que obtuvo el nivel más bajo con un 35 % de plántulas normales.



**Cuadro 4.3 Comparación de medias en los tratamientos estudiados en las variables de capacidad de germinación en condiciones de laboratorio. 2010**

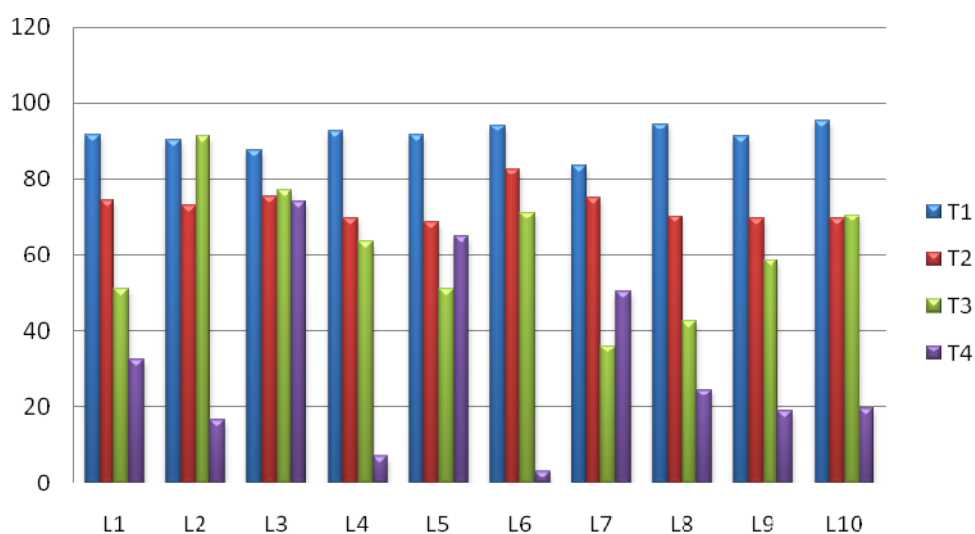
<b>Tratamientos</b>	<b>Plántulas Normales</b>	<b>Plántulas Anormales</b>	<b>Semilla sin Germinar</b>
Testigo	91.15 a	3.65 c	5.20 c
1.5 Bar	72.75 b	22.40 a	4.7 c
-3 Bares	61.20 c	21.85 ab	16.30 b
-5 Bares	31.15 d	17.60 b	51.00 a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales

En lo correspondiente a la interacción de líneas por tratamientos, se encontró que en todas las líneas estudiadas se tuvieron diferentes respuestas en los tratamientos, sin embargo existió una tendencia, que como se mencionó anteriormente, las líneas obtuvieron el mayor número de plántulas normales en el tratamiento 1 (testigo con agua) con porcentajes mayores a 90 %, sobresaliendo la línea AN-363-92 con 95.5% y resultando con menos capacidad de germinación en este mismo tratamiento, la AN-358-92 con un porcentaje de 83.5 % de plántulas normales, como se muestra en la Figura 4.1. Estos de valores de germinación indican que los materiales evaluados eran de alta calidad fisiológica, sin embargo, AN-358-92 no presentó los valores mínimos para la comercialización según SNICS (2007).

En cuanto al tratamiento de 1.5 bars (T2), la línea que sobresalió fue AN-357-92 (L6) con un 82.5% de germinación y con el menor porcentaje a AN-355-92 (L5) por obtener un 68.5 %; los resultados dados en las líneas restantes fueron entre 69 a 75 % en sus plántulas normales (Figura 4.1), lo cual indica que a esta presión las líneas responden bien ya que el porcentaje de germinación no fue bajo, esto coincide con lo dicho por Parera y Cantliffe (1994); Mora *et al.* (2004), quienes mencionan que una semilla con óptima calidad debe germinar rápido y uniformemente bajo diferentes condiciones ambientales, tal y como se observó en esta concentración.

Las líneas estudiadas se comportaron de manera diferente y variaron en el tratamiento -3 bares (T3), siendo AN-344-92 la de mejor porcentaje de germinación con 91 %, y el menor la línea AN-358-92 (L7) con 36 %, mientras que las demás líneas obtuvieron valores desde 41a 77 %. La resistencia a esta concentración fue menor a la presentada en la concentración anterior ya que la mayoría de los valores fueron bajos a pesar que el valor de mayor porcentaje fue más alto que las plantas tratadas con agua (Figura 4.1).



**Figura 4.1 Respuesta del porcentaje de germinación en plántulas normales de 10 líneas élite de trigo forrajero en tres concentraciones de polietilén-glicol y un testigo con agua bajo condiciones de laboratorio. 2010**

Con respecto a la interacción líneas por tratamiento a -5 bares (T4), la línea AN-345-92 fue quien tuvo la mejor respuesta en la germinación con 74 %, la peor fue la línea AN-357-92 (L6) con apenas un 3 % de plántulas normales. Estos resultados fueron los esperados ya que a mayor presión osmótica, se esperaba menor capacidad de germinación; sin embargo la línea AN-345-92 que fue la de mayor porcentaje en esta concentración, nos puede indicar que posiblemente sea tolerante a sequía, ya que el polietilén-glicol a lo largo del tiempo ha sido utilizado

como un indicador de sequía, por tener propiedades que permiten simular esta condición.

Es por ello que las respuestas en la interacción línea por tratamiento verdaderamente reflejó el material más sobresaliente a tolerar sequía, datos que coinciden con lo encontrado por algunos autores como Mora *et al* (2006) en diferentes variedades de *Brassica oleracea* L.; Laynez *et al.* (2008) en maíz, Peña *et al* (2009) también en diferentes variedades de maíz; marcando que este comportamiento puede deberse a la misma composición genética del material mejorado, sin embargo existe otra causa sobre todo de aspecto fisiológico, pues una semilla para que germine de manera normal debe tener las condiciones necesarias tales como luz, temperatura, aire y agua; quienes intervienen en el proceso de germinación, considerando la absorción de agua el principal factor en la iniciación del mismo; por ello el uso de diferentes concentraciones de polietilén-glicol, causa que sea alterado su potencial matricial en la capacidad de absorción de agua tal y como lo describe Besnier (1988).

### **Plántulas anormales (PA)**

El análisis de varianza (ANVA) mostró que existe una diferencia altamente significativa entre las líneas experimentales, las concentraciones de polietilén-glicol y la interacción entre ellos, con un coeficiente de variación de 49.6 % como es posible ver en el Cuadro 4.1, marcando que existió por lo menos una línea en alguna de las concentraciones de polietilén-glicol con una respuesta diferente en esta variable.

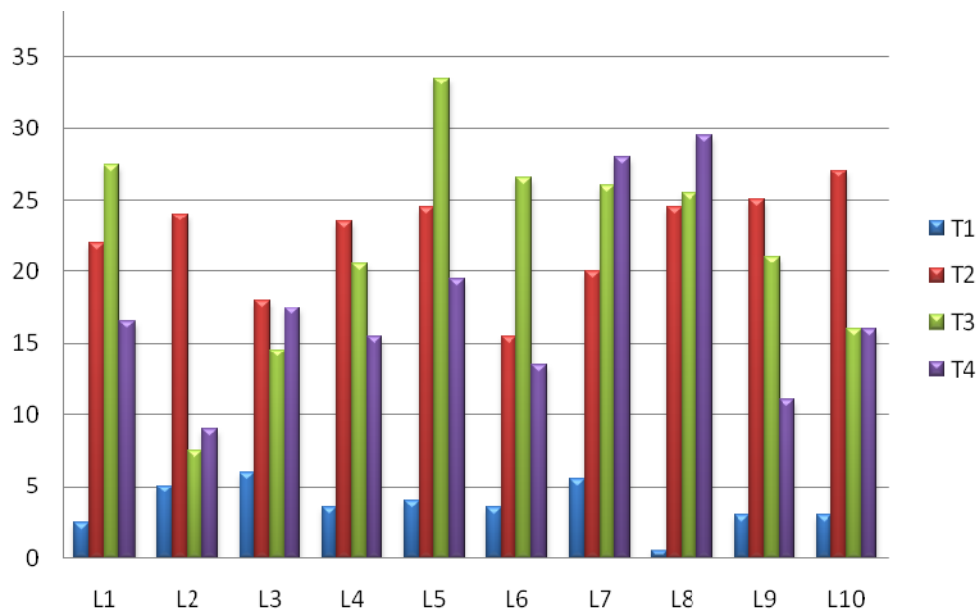
En la prueba de comparación de medias realizadas entre líneas para esta variable, se encontró que todas las líneas son estadísticamente iguales, pero numéricamente diferente se encontró que AN-355-92 fue la que obtuvo un mayor porcentaje con 20.4 %, seguida de AN-360-92 y AN 358-92 con 20 y 19.9 % respectivamente; y la de menor porcentaje fue AN-344-92 con un 11.4 % (Cuadro 4.2).

En la prueba de comparación de medias para tratamientos, se encontró que el tratamiento 2 fue el que obtuvo el mayor porcentaje de plántulas anormales con 22.40 %, y siendo el testigo la que presentó el menor porcentaje con un 3.65 % (Cuadro 4.3); el resultado obtenido en las plántulas testigo fueron los esperados, ya que con este tratamiento fueron en condiciones normales, pero se esperaba que el mayor porcentaje de plántulas anormales se encontraran en el tratamiento 4 por ser la concentración más alta y por lo tanto a la que más presión osmótica se sometían las semillas.

Con respecto a la interacción líneas por tratamiento, se encontró que todas las líneas respondieron de manera diferente siendo el tratamiento testigo el que presentó el porcentaje más bajo, y en tanto el tratamiento 2 el de mayor porcentaje, esta respuesta es la esperada ya que se tiene en cuenta que a mayor presión osmótica más dificultad presentaran las plantas para su desarrollo. Esto es similar a lo que Laynes *et al* (2008) observó en plántulas de maíz sometidas a diferentes potenciales osmóticos en el que observó que el testigo fue el que presentó el menor porcentaje de plántulas anormales (Figura 4.2).

El comportamiento de las líneas al tratamiento 2 (T2) fue de manera muy similar pues la mayoría estuvo dentro del mismo rango de porcentajes, pero de esta la que más sobresalio fue AN-363-92 (L10) con un porcentaje de 27 % y la más baja fue AN-357-92 (L6) como se observa en la Figura 4.2.

Para la interacción de las líneas con el tratamiento 3 estas se comportaron de manera diferente entre sí, la línea de mayor porcentaje fue AN-355-92 (L5) con 33.5 % y la de menor porcentaje fue AN-344-92 (L2) con un 7.5 %, los daños que sufren las plántulas por el estrés de sequía son algunas malformaciones, por lo cual se toman como plántulas anormales; algunas de las malformaciones son: la falta de crecimiento de la radícula o plúmula, como también crecimiento de la plúmula de forma enrollada, los daños observados pueden aparecer por que sean susceptibles al estrés de sequía, tal como ha sido señalado en algunos trabajos donde se evaluaron el crecimiento y desarrollo de plántulas: González (2005) plántulas de arroz; González *et al* (2007) en plántulas de trigo.



**Figura 4.2 Respuesta de la capacidad de germinación en la interacción de líneas de diez líneas elite por tres tratamientos de polietilén-glicol y un testigo con agua en plántulas anormales.**

Las semillas sometidas al tratamiento 4 (T4) fueron las que con más alto porcentaje se mostraron para esta variable, de las cuales la línea AN-355-92 fue la del mayor porcentaje con un 29.5 % y menor porcentaje fue AN-361-92 con 11 % (Figura 4.2), el comportamiento en esta variable es similar a lo encontrado por investigadores que trabajaron con diferentes cultivos como Hurd (1974), quien encontró que algunas variedades germinaron desde un 3 hasta un 49% en soluciones de manitol de -20 atm, el porcentaje restante es muy probable que fueron una gran parte de plántulas anormales como también semillas sin germinar; Espinoza y Kuruvadi (1985), quienes encontraron que a 15 atm varía el porcentaje de plántulas anormales que van de un 98.4 a un 82.3 %.

### **Semilla Sin Germinar**

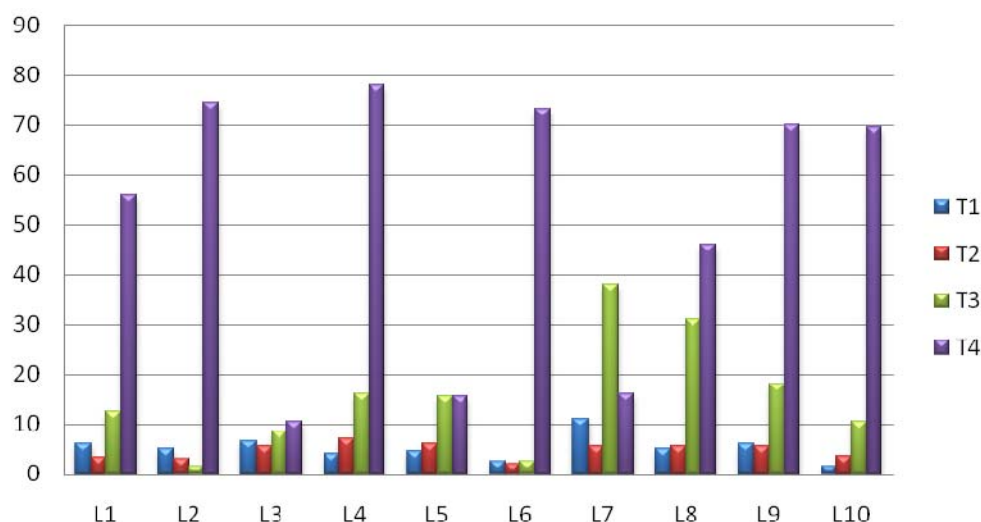
El resultado del análisis de varianza (ANVA) para esta variable, presento un coeficiente de variación de 69.45 % con diferencias altamente significativas en la

fuentes de variación líneas, concentraciones de polietilen-glicol y la interacción entre ellos, como se muestra en el Cuadro 4.1.

En la prueba de comparación de medias se observaron cuatro grupos estadísticos, donde el primer grupo fue la línea AN-348-92 (L4) con la cifra más elevada en semillas sin germinar con 26.3 %; es el siguiente grupo se encontraron seis de las líneas estudiadas con un porcentaje entre los 17 a 22 %; en el tercer grupo únicamente la línea AN-355-92 con 10.4 % y el último grupo fue AN-345-92 con menor número de semilla sin germinar con un 7.8 % (Cuadro 4.2); indicando que en general los tratamientos tuvieron poco efecto negativo en esta última línea, que en comparación de AN-348-92 quien si se consideró afectada por los tratamientos.

En la prueba de comparación de medias para tratamientos, los resultados mostraron 3 grupos estadísticos, del cual el tratamiento testigo (T1) y tratamiento 2 (T2) son los que resultaron con el menor porcentaje con un 5.2 y 4.7 % respectivamente y el de mayor porcentaje fue el tratamiento cuatro (T4). Estos resultados son los que se esperaban por que el T1 fue el que no se sometió a estrés y el T2 fue el que estuvo a la concentración más baja como se muestra en Cuadro 4.3.

Con lo que respecta a la interacción de líneas por tratamiento, se encontró que cada una de las líneas responde de manera diferente, siendo el tratamiento 4 el que presentó porcentajes mucho más altos a comparación de los demás, como era de esperarse por ser la concentración más alta, como lo observado por Dowling (1996), quien evaluó tres niveles de potencial osmótico sobre la emergencia de canola, encontró valores de emergencia de 90% para el potencial osmótico de 0 MPa, mientras que con el nivel de -1.2 MPa no hubo emergencia de canola.



**Figura 4.3 Respuesta de la interacción de diez líneas elite de trigo forrajero por tres tratamientos con polietilen-glicol y un testigo con agua en la variable semillas sin germinar.**

En las líneas con el T1 (testigo con agua), mostraron una respuesta diferente, donde siendo AN-358-92 (L7) la de mayor porcentaje con un 11 % mostrando que es un material de baja calidad, sin embargo por ser un cereal de invierno posiblemente le faltaron horas frío por esa razón podría tener baja germinación y presentar mayor número de semillas sin germinar; en cambio AN-363-92 (L10) presentó un menor porcentaje de 1.5 %, mientras que las líneas restantes no superaron el 7 % tal y como se ve en la Figura 4.3.

Con respecto al tratamiento 2 (T2), AN-348-92 fue quien obtuvo un mayor porcentaje de semillas sin germinar con 7 % y la AN-357-92 de menor 2 %. En el tratamiento 3 (T3), la más afectada fue la línea AN-358-92 con 38 % y la menor fue AN-344-92 con 1.5 % (Figura 4.3)

Por último, el tratamiento 4, mostró valores altos en semillas sin germinar, con los porcentajes más altos AN-348-92 con 78 % y la AN-345-92 fue la menor con un 10.5 % (Figura 4.3), con respecto a concentraciones más bajas y sobre todo en el testigo con agua, la concentración -5 bares presenta una disminución en la germinación y como ya se había mencionado aumentó en las SSG; parecido a la

investigación de Laynes *et al* (2008), al someter variedades de maíz a manitol en diferentes concentraciones se dió cuenta que las líneas no respondían de manera favorable al someterlas al mayor potencial osmótico (-1.2 MPa).

## Vigor

### Índice de Velocidad de Emergencia

El análisis de varianza para esta variable, mostró que existe una diferencia altamente significativa entre líneas, concentraciones de polietilén-glicol y la interacción de ellos con un coeficiente de variación de 21.39 %, como se muestra en el Cuadro 4.4, donde al menos una línea en alguna de las concentraciones de polietilén-glicol tuvo una respuesta diferente en el índice.

**Cuadro 4.4 Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para las variables de vigor en condiciones de laboratorio. 2010**

Fuente de variación	Grados de libertad	Índice de velocidad de emergencia	Longitud media de radícula	Longitud media de plúmula	Tasa de crecimiento de plántula (PS)
Líneas	9	419.9822 **	3.3947NS	4.3513 NS	0.02911NS
Tratamientos	3	60063.22 **	451.513**	1053.744**	0.01547NS
Líneas x Tratamiento	27	6783.7054**	10.3252**	9.7294**	0.03355*
Error	120	85.4232	3.4395	2.1418	0.01726
% C.V.		21.39	20.19	16.38	46.38

y \*\* = Significativo y altamente significativo al 5% y 1% de probabilidad respectivamente. NS= No significativo;

En la prueba de comparación de medias entre líneas, se encontraron cuatro grupos estadísticos, en el primer grupo se encontró AN-363-92 (L10) que obtuvo el mayor índice con un índice de 49.9 plántulas por día junto con AN-358-92 (L7) con un 48.7, AN-357-92 compartió también el grupo 2 al igual que AN-361-92, AN-343-92, AN-344-92 las que estas últimas también compartieron el grupo tres y cuatro; y por ultimo en el grupo cuatro estuvo la AN-345-92 con el índice más bajo de 36.3 plántulas por día (Cuadro 4.5).



**Cuadro 4.5 Comparación de medias en las líneas estudiadas sometidas a diferentes concentraciones de polilén-glicol en las variables de vigor en condiciones de laboratorio. 2010**

Líneas	IVE No. de plántula por día	LMR Cm	LMP Cm	PS mg/plántula
AN-343-92	39.5abcd	8.9 a	9.2 a	0.3 a
AN-344-92	44.1abcd	9.4 a	8.9 a	0.3 a
AN-345-92	36.3d	9.6 a	9.4 a	0.3 a
AN-348-92	38.1bcd	8.4 a	8.7 a	0.3 a
AN-355-92	37.2cd	9.4 a	9.4 a	0.4 a
AN-357-92	47.9ab	9.1 a	7.9 a	0.3 a
AN-358-92	48.7 a	9.4 a	9.1 a	0.3 a
AN-360-92	43.4abcd	8.4 a	8.1 a	0.3 a
AN-361-92	47.1abc	9.2 a	9.2 a	0.3 a
AN-363-92	49.9 a	9.8 a	9.2 a	0.3 a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

En el cuadro 4.6 muestra el resultado de la prueba de comparación de medias para los tratamientos, se obtuvieron cuatro grupos estadísticos donde todas las concentraciones responden diferente en las líneas, siendo el tratamiento 1 con el mayor índice (62.73 plántulas por día), seguido del tratamiento 2 con 54.89 plántulas por día, después el tratamiento 3 con 43.35 plántulas día y por último, el tratamiento 4 obtuvo la más lenta emergencia con 11.84 plántulas por día.

**Cuadro 4.6 Comparación de medias en los tratamientos estudiados a que fueron diez líneas élite sometidas a diferentes concentraciones de polilén-glicol en las variables de vigor en condiciones de laboratorio. 2010**

Líneas	IVE No. de plántula por día	LMR Cm	LMP Cm	PS mg/plántula
Testigo	62.73 a	10.13 b	13.53 a	0.26 a
1.5 Bar	54.89 b	13.36 a	12.87 a	0.26 a
-3 Bares	43.35 c	7.68 c	6.36 b	0.30 a
-5 Bares	11.84 d	5.54 d	2.95 c	0.29 a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

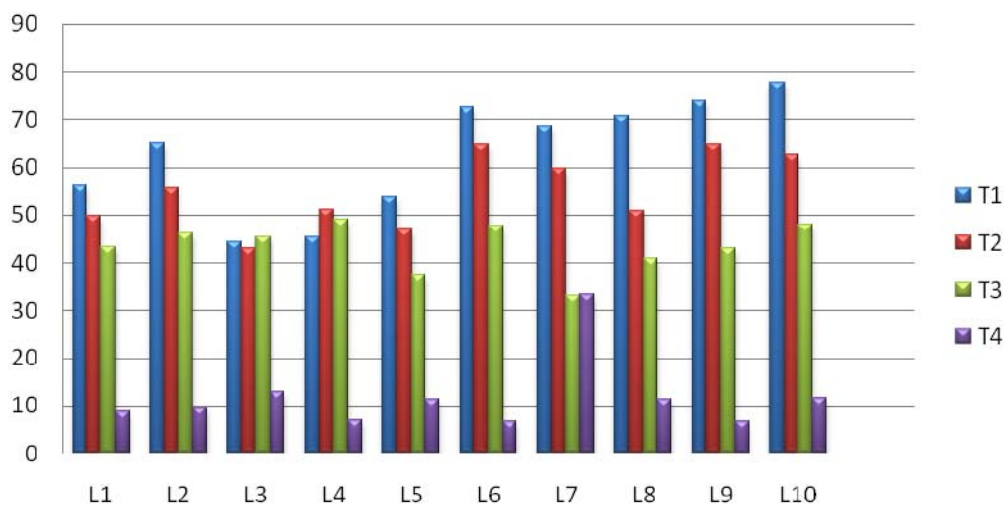
En la interacción de líneas por tratamiento, se encontró que en todas las líneas estudiadas respondieron de manera diferente en cada uno de los tratamientos. En

el tratamiento 1 (T1) la línea AN-363-92 obtuvo un índice de 77.65 plántulas por día teniendo un alto vigor en su emergencia, mientras que AN-345-92 y AN-348-92 tuvieron solo 44.2 y 45.39 plántulas por día siendo la de menor vigor entre las líneas estudiadas en este tratamiento, como se observa en la Figura 4.4; coincidiendo con Mora *et al* (2006), quienes observaron una superioridad también en el testigo absoluto con agua de hasta 17 % superior en comparación de las concentraciones de agua bidestilada a -5,-10,-15 y -20 atm.

En cuanto al tratamiento de 2, la línea que sobresalió fue AN-361-92 (L6) con un índice de 64.78 plántulas por día y la del menor índice fue AN-355-92 (L3) con un 37.25 plántulas por día (Figura 4.4). La calidad fisiológica y, en particular el vigor de semilla, se asocia con la tasa y uniformidad de la germinación, crecimiento de plántula (ISTA 1999); por eso es posible darnos cuenta que la línea AN-361-92 tiene un mejor vigor por presentar el índice más alto esto a comparación de la AN-355-92.

En el tratamiento 3 (-3 bares), el valor más alto fue la línea AN-363-92 (L10) con un 47.91 plántulas por día seguida por AN-357-92 y la de menor la línea AN-358-92 con un valor de 33.2 plántulas por día, mientras que las demás se encontraron en un rango de 37 a 46 plántulas por día (Figura 4.4), a esta concentración, el índice se hacía más lento por el tipo de presión de las tres que se evaluaron.

La respuesta de las diferentes líneas a la concentración de -5 bares, confirmó que se tiene un efecto negativo en la emergencia, dando un índice más lento, sin embargo se logró diferenciar la respuesta entre las líneas, sobresaliendo AN-345-92 con un 12.91 plántulas por día y la más afectada fue AN-357-92 con un 6.56 plántulas por día, lo cual indica que aún en estas condiciones AN-345-92, tuvo emergencia y se puede considerar como vigorosa, además de ser una línea propiamente tolerante a estas características de sequía.



**Figura 4.4 Respuesta de la interacción de diez líneas elite de trigo forrajero por tres tratamientos de polietilén-glicol y un testigo con agua en la variable del Índice de velocidad de emergencia.**

#### **Longitud media de radícula (LMR)**

El análisis de varianza para longitud media de radícula no observó diferencias significativas entre líneas y si una diferencia altamente significativa en los tratamientos, así como en la interacción líneas por tratamientos, con un coeficiente de variación de 20.19 % como se muestra en el cuadro anteriormente señalado Cuadro 4.4.

En el Cuadro 4.5 se describe la prueba de comparación de medias realizadas entre líneas, donde se encontró que todas están dentro del mismo grupo estadístico, sin embargo, numéricamente difieren, sobresaliendo AN-363-92 quien presentó la mayor longitud con 9.8 cm y por tanto vigorosa en comparación de las demás líneas; mientras AN-348-92 y AN-360-92 resultaron con una longitud de 8.4 cm marcada como menos vigorosa.

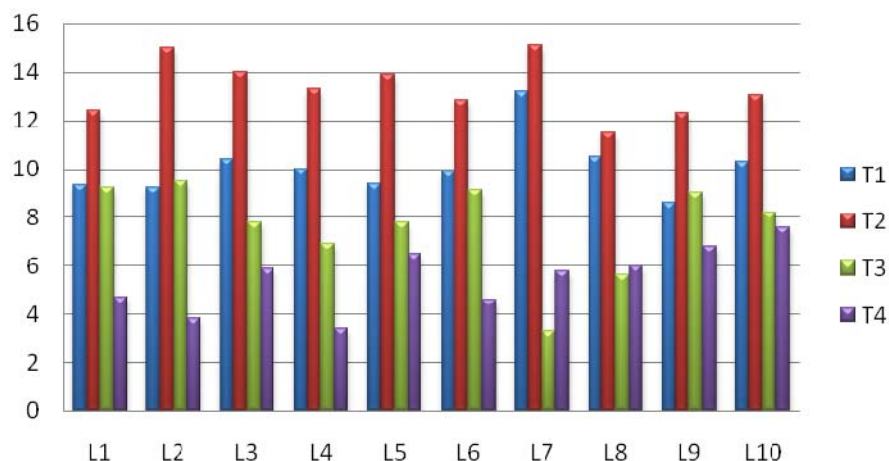
Con respecto a la prueba de comparación de medias para tratamientos, se encontró diferencia en las líneas obteniendo 4 grupos estadísticos, donde el tratamiento 2 fue el mayor con 13.36 cm de longitud (Cuadro 4.6), marcando que

en este tratamiento las plántulas son las que desarrollan una radícula más grande; esto coincide con algunos autores que observaron que el preacondicionamiento de las plántulas a estrés hídrico también puede incrementar el potencial de formación de raíces (Rook 1973; Ali-abod y Sandi, 1983; Aussenac y El Nour, 1985; Van den Driessche, 1992). En seguida del tratamiento dos se encontró al tratamiento 1 con 10.13 cm, el tratamiento 3 con 7.68 cm y el más bajo fue el tratamiento 4 con 5.54 cm (Cuadro 4.6).

En la Figura 4.5 se muestra la respuesta en la interacción de líneas por tratamiento, se encontró que en todas las líneas estudiadas respondieron de manera diferente en cada uno de los tratamientos, para el tratamiento 1 la AN-360-92 fue la de más longitud con 10.5 cm, seguida por AN-345-92 con 10.4 cm y la de menor longitud fue AN-361-92 con 8.6 cm.

En el tratamiento 2, la mayor longitud fue dada por AN-358-92 con 15.1 cm, seguida de AN-344-92 con 15 cm y la menor respuesta en la longitud la dio AN-360-92 con 11.5 cm como se muestra en la Figura 4.5, una razón por la que se puede considerar el alargamiento de la raíz es por un acúmulo de ABA en la raíz, el cual actúa sobre la permeabilidad, aumentando el potencial osmótico permitiendo la hidratación como lo menciona Rojas (2003), causando que el tratamiento 2 en el que las plantas desarrollaron la radícula más grande.

En el caso del tratamiento 3, la línea AN-344-92 sobresalió con una longitud de raíz de 9.5 cm, por el contrario la que resultó de menor fue AN-358-92 con 3.3 cm, esto puede ser a causa de que a medida que el déficit hídrico crece, el proceso más afectado es la expansión y el crecimiento celular, debido a la reducción de turgencia (Davies y Zhang; 1991).



**Figura 4.5 Respuesta de la interacción de diez líneas elite de trigo forrajero por tres tratamientos de polietilén-glicol en la variable Longitud media de radícula.**

En el tratamiento 4, la AN-363-92 resultó tener una longitud de 7.6 cm siendo la mayor en comparación de las otras líneas, en cambio AN-348-92 obtuvo 3.4 cm de longitud teniendo la respuesta más baja de todas las líneas en este tratamiento. Como es de notar, los tratamientos 3 y 4 resultaron con los menores valores de longitud en las plántulas coincidiendo con Laynes *et al* (2008) quien reporto una reducción de los caracteres de crecimiento y sensibilidad a la sequía en las radículas de maíz, ya que a mayor concentración de PEG el tamaño de la raíz se redujo.

### **Longitud media de plúmula (LMP)**

En el análisis de varianza y la prueba de comparación de medias hubo una diferencia significativa entre líneas, y diferencia altamente significativa en las concentraciones de polietilén-glicol así como en la interacción entre ellos, con un coeficiente de variación de 16.38 % como se muestra en el Cuadro 4.4, marcando que existió al menos una línea en alguna concentración de polietilén-glicol con una respuesta diferente en esta variable.

En la prueba de comparación de medias entre las líneas estudiadas resultó que estadísticamente son iguales, pero numéricamente diferentes, presentando mayor longitud en AN-355-92 de 9.4 cm y la menor en AN-357-92 con 7.9 cm, como es de observar la diferencia entre el valor alto y bajo no es mucha sin embargo por los resultados en las demás variables evaluadas, se muestra una tendencia donde la línea AN-355-92 es superior a AN-357-92 a lo largo del estudio como se muestra en el Cuadro 4.5.

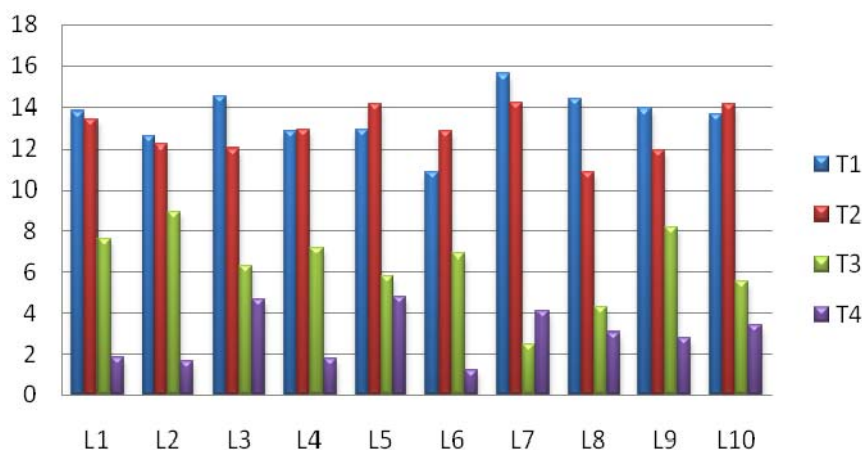
En la prueba de comparación de medias para los tratamientos, se encontró que el tratamiento 1 y 2 están en el mismo grupo estadístico con 13.53 y 12.87 cm respectivamente; mientras que el tratamiento 3 se tuvo un valor de longitud de 6.36 cm y por último como más bajo el tratamiento 4 con 2.95 cm siendo este el de más baja longitud (Cuadro 4.6).

En la interacción de líneas por tratamientos, todas las líneas respondieron de manera diferente, para tratamiento 1 la línea AN-358-92 obtuvo la mayor longitud con 15.6 cm y AN-357-92 la de menor longitud quien presentó 10.8 cm plúmula como se muestra en la Figura 4.6, siendo el tratamiento testigo la de mayor longitud excepto en las líneas AN-355-92, AN-357-92 y AN-363-92, que fueron superadas por el tratamiento 2.

En el tratamiento 2 la de mayor longitud fue AN-358-92 con 14.2 cm y la de menor longitud fue AN-361-92 con 11 cm; todas las demás líneas mostraron una longitud media entre 12 a 14 cm como se muestra en la Figura 4.6, por lo que se puede decir que el comportamiento de las líneas fue similar o igual en este tratamiento sin afectar en alguna medida el desarrollo de la parte aérea por mostrar valores similares al testigo como se observa en la Figura 4.6.

En el tratamiento 3, la mayor longitud resultó la línea AN-344-92 con 8.9 cm y la de menor fue AN-358-92 con 2.5 cm; como se aprecia en la Figura 4.6, existió una importante baja en el desarrollo de la plántula en la parte aérea. Estos cambios posiblemente se deban a los principales mecanismos fisiológicos de respuesta en

general al estrés, ya que están relacionados con cambios en el funcionamiento de las células en el cierre estomático, mantenimiento de la estabilidad de las membranas celulares y de los organelos y cambios en la elasticidad de la pared celular dando un efecto negativo en las plántulas en su desarrollo como lo mencionan Chinnusamy *et al* (2005) y Stepanova y Alonso, (2005).



**Figura 4.6 Respuesta de la interacción de diez líneas elite de trigo forrajero por tres tratamientos de polietilen-glicol en la variable la longitud media de plúmula.**

Lógicamente en el tratamiento de -5 bares, se encontraron aún más bajos los valores de longitud, donde la más alta resulto AN-355-92 con 4.8 cm y la más afectada AN-357-92 con un 1.23 como se muestra en la misma Figura 4.6; siendo el tratamiento que mayor efecto negativo se tuvo en todas las líneas y muy probablemente se debió a la presión osmótica a la que fueron sometidas las semillas, ya que si estrés hídrico es más severo, la fotosíntesis y la transpiración se abaten debido al cierre estomático y al bloqueo de la difusión de CO<sub>2</sub> hacia el mesófilo, disminuyendo el crecimiento de la planta (Kumar *et al.*, 1994).

#### **Tasa de crecimiento de plántula (PS)**

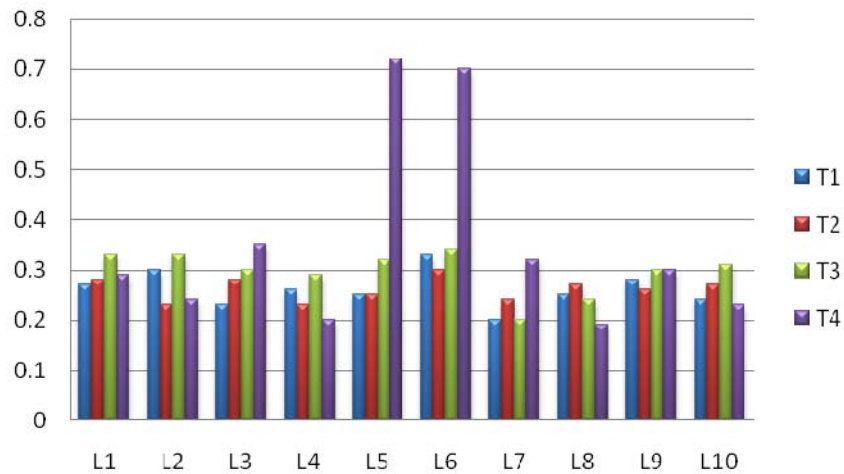
El análisis de varianza y la prueba de comparación de medias mostraron que no existe una diferencia significativa entre líneas y las concentraciones de polietilen-glicol, pero si una diferencia significativa en la interacción entre ellos con un

coeficiente de variación de 46.48 %, como se muestra en el Cuadro 4.4, donde al menos una línea mostró una respuesta diferente a los potenciales osmóticos estudiados en la tasa de crecimiento de plántula.

En el Cuadro 4,5, se muestra la comparación de medias entre líneas, donde los resultados fueron iguales en todas las líneas con un peso de 0.3 mg/plántula; mientras que entre los tratamientos, también resultaron estadísticamente iguales, sin embargo numéricamente se encontró diferencia, siendo el tratamiento 3 el de mayor peso con 0.30 mg/plántula, seguida por el tratamiento 4 con 0.29 mg/plántula y por último los tratamientos 1 y 2 con 0.26 mg/plántula, como se muestra en el Cuadro 4.6, en esta variable los tratamientos con las concentraciones más altas son los que presentaron el valor más alto, esto es muy probable sea por la expansión radicular y aérea como una forma de resistencia a la sequia, sea encontrado que grandes producciones de raíz se asocian a mayor tolerancia a sequia (White y Castillo. 1992).

En la interacción de líneas por tratamiento, se encontró que las líneas estudiadas respondieron de manera diferente en cada uno de los tratamientos; donde el tratamiento 1, mostró que la línea AN-357-92 obtuvo el valor más alto con 0.33 mg/plántula y AN-358-92 el más bajo valor con un 0.2 mg/plántula; para el caso del tratamiento 2, la línea AN-357-92 tuvo el más alto con 0.3 mg/plántula y el más bajo fueron AN-344-92 y AN-348-92 con igual valor en el peso con 0.23 mg/plántula como se observa en la Figura 4.7. Aunque los valores en la tasa de crecimiento fueron bajos se puede notar que existe un acúmulo de materia seca en los tratamientos con una concentración de polietilenglicol esto puede ser debido al acumulo de azúcares que ya que el ABA también estimula la translocación de azúcares en planta, translocación de sacarosa dentro del tejido radical y la descarga de sacarosa para la absorción del embrión, a partir del apoplasto (Rolland *et al.*, 2006; Holttta *et al.*, 2006; Jung Dae *et al.*, 2006).





**Figura 4.7 Respuesta de la interacción de diez líneas elite de trigo forrajero por tres tratamientos de polietilén-glicol y un testigo con agua en la variable peso seco en condiciones de laboratorio.2010**

En el tratamiento 3, era de esperarse que las líneas fueran afectadas como en las otras variables sin embargo no fue el caso ya que existió un aumento en peso seco en algunas de ellas como fue AN-357-92 con 0.34 mg/plántula, seguida de AN-344-96 con 0.29 mg/plántula; y las líneas que fueron afectas son menor AN-358-92 y la AN-360-92 con 0.2 y 0.24 mg/plántula respectivamente.

En la misma Figura 4.6, se observa que el tratamiento 4 también mostró una diferencia positiva en algunas de las líneas estudiadas donde la AN-355-92 obtuvo un valor de 0.72 mg/plántula, seguida de AN-357-92; mientras que otras líneas verdaderamente fueron afectadas como es AN-360-92 y la AN-348-92 con 0.19 y 0.2 mg/plántula respectivamente, en la interacción de línea por tratamiento la línea que se mantuvo el valor más alto en todas las concentraciones fue la línea AN-356-92 y en tanto que AN-358-92 presento el valor más alto en el ultimo tratamiento.

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo una vez expuestos los resultados se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- La aplicación de polietilén-glicol es un auxiliar para poder seleccionar materiales tolerantes a sequía y al aumentar la presión osmótica mediante su concentración afecta negativa o positivamente la calidad fisiológica de las líneas estudiadas
- El testigo con agua (T1) en todas las líneas fue superior a todos los tratamientos aplicados en la prueba de capacidad de germinación en el porcentaje de plántulas normales, sobresaliendo la línea AN-358-92 con 94 %; mientras que los tratamientos de diferentes concentraciones de polietilenglicol superan al testigo en las pruebas de vigor sobresaliendo la línea AN-348-92 en el tratamiento 2 en las variables IVE Y LMP y sobresalen todas las líneas en el tratamiento 2 en la LMR y para la variable PS todos fueron superiores al testigo en todos los tratamientos
- En el tratamiento de polietilén-glicol a -3 bares, sobresale AN-344-92 con porcentaje alto de germinación, bajo en anormalidades y bajo en semillas sin germinar, considerada como tolerante a sequía en condiciones de esta presión osmótica; mientras que AN-355-92 resultó ser la más afectada en estas condiciones por obtener altos porcentajes de anormalidad y de semillas sin germinar.
- En los tratamientos de polietilén-glicol a 1.5 y -5 bares, sobresalió la línea AN-357-92 con alto vigor en índice de velocidad de emergencia y en tasa de crecimiento de plántula, marcando una favorable respuesta en la aplicación del polietilén-glicol en esta línea para su rápida emergencia y acumulación de materia seca, como lo refleja la línea AN-363-92 en la concentración a-5 bares de polietilén-glicol.

- En la línea AN-358-92, existe un efecto positivo en la aplicación de polietilén-glicol a 1.5 bares en el desarrollo de la plántula tanto radicular como aérea (LMR y LMP).
- La aplicación de polietilén-glicol a una concentración de -5 bars, afectó negativamente a la línea AN-348-92 en su calidad fisiológica ya que aumentó considerablemente el porcentaje de semillas sin germinar, disminuyó drásticamente la longitud de radícula, plúmula y por consecuencia el peso seco de la plántula; determinando que esta línea es menos tolerante a sequía que el resto.

## LITERATURA CITADA

1. Acevedo E., Silva H y Silva P.- 1998.- tendencias actuales de la investigación en la resistencia al estrés hídrico de las plantas cultivadas. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Boletín Técnico. Chile. Vol 49, p.1-28.
2. Akers, S.W. and Kevin H.E.- 1986.- A system for priming seed using aerated polyethylen glicol or salt solutions. Hort Sci. 21:529-531.
3. Ali Abod, S. y Sandi, S. (1983). Effect of restricted watering and its combination with root pruning on root growth capacity, water status and food reserves of *Pinus caribea* var. *hondurensis* seedlings. *Plant and Soil* 71:123-120.
4. Aussenac, G. y El Nour, M. (1985). Utilisation des contraintes hydriques pour le préconditionnement des plantes avant plantation; premières observations pour le cedre et le pinnoir. *Biologie et Forêt* 37:371-376.
5. Banzinger, M., Edmeades, G.O., Beck, D. and Bellon M. 2000. Breeding for drought and Nitrogen Stress Tolerance in Maize: From Theory to practice. CIMMYT, México, DF. 359-362.
6. Bernier R. F. 1989. Semillas biología y tecnología. Editoriall Mundi –prensa. Madrid. 358 pp.

7. Bewley, J. D. and Black, M. 1978. Physiology and biochemistry of seed in relation to germination: development, germination and growth. Vol. 1 Springer- Verlag. Berlin, Heidelberg, Nueva York. 306 pp.
8. Blum, A. 2002. Drought tolerance - is it a complex trait? pp. 17-22. En: Saxena, N.P. y J.C. O'Toole (eds.). Field screening for drought tolerance in crop plants with emphasis on rice. Proc. International Workshop on Field Screening for Drought Tolerance in Rice, 11-14 Dic. 2000. ICRISAT, Patancheru y Rockefeller Foundation, New York, NY.
9. Brum, A. L., Da Luz, L.C., K Da Silva, C. V. y Kettenhuner, M.P.- 2005.- La competitividad del trigo brasileño ante la competencia por el costo de producción. Revista Galega de Economía. 14 (001-002): 1-16
10. Burdett, A.N. (1990). Physiological processes in plantation establishment and the development of specifications for forest planting. *Can. J. For. Res.* 20: 415-427.
11. Burdett, AN.; Simpson, DG. y Thompson, CF. (1983). Root development and plantation establishment success. *Plant Soil* 71:103-110.
12. Craviotto, R.M.; Arango, M: R.; Gallo, C. 2008. Casete de Germinación de Semillas: su uso en la evaluación de la calidad de trigo. Grupo de investigación de tecnología de semillas INTA. EEA Oliveros.
13. Curtis, B.C.- 2002.- Wheat in the world. Bread wheat improvement and productions. FAO. Rome, Italy Plant productions and protection series no. 30:1-17.
14. Chinnusamy, V., Liming Xiong y Jian- Kang Zhu. 2005. Chapter two: Use of Genetic Engineering and Molecular Biology Approaches for Crop

Improvement for Strees Environments. pp. 47- 95. En: Ashraf, M. y P. Harris (eds.). Abiotic stresses plant resistance through breeding and molecular approaches. FoodProducts Press, Binghamton.

15. Davies, W.J. y J. Zhang. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 42, 55-57.
16. Dios, C. de; Puig, R. y Robutti J., L. 1992. Tipificación de maíces por algunos caracteres de sus granos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. República Argentina. 12 p. (Informe Técnico No.265).
17. Doorenbos, J. y y Pruitt, W. O. -1976.- Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje 24: 194p.
18. Dowling, C. W. 1996. The effect of soil ammonium concentration and osmotic pressure on seedling emergence. Proc. 8<sup>th</sup> Australian Agronomy Conference. Toowoomba. Queensland. <http://www.regional.org.au/au/asa/1996/contributed/219dowling.htm> (30 enero 2004)
19. Espinoza, Z. R. y S. Kuruvadi. 1985. Clasificación de colecciones de zacate gigante (*Leptochloa dubia* HBK, Ness) por su grado de resistencia a sequía en manitol. *Agraria Revista Científica UAAAN* 1(2): 142-152.
20. Eissenstat, D.M. 1992. Costs and benefits of constructing roots of small diameter. *J. Plant Nutr.* 15, 763-782.
21. Esquivel, A.C.- 1990.- Estimación de los efectos del clima y tecnología sobre los rendimientos de maíz de temporal en el área del plan puebla, periodo 1967 – 1988. *Terra* 8:170-176.

22. Fabre, B.R., Boero, L.E., Argibay, J., Beneciay, H. y Del Rio, A.- 2006.- Screening de macroprolactina con polietilenglicol: límite de corte. Buenos Aires, Argentina. Acta bioquímica clínica latinoamericana. 40 (001): 77-81 pp.
23. FAO, 1993.- Anuario de Producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Roma, Italia.
24. Ferguson, J. 1995. An introduction to seed vigor testing. *In*: Seed vigor testing seminar. Zurich: International Seed Testing Association. Copenhagen Denmark. p. 1–9.
25. Frahm M, J.C., Rosas, N., Mayer, E., Lopes, J.A., Acosta, J.D., Kelly .- 2003.- Resistencia a sequia terminal en frijol negro tropical. Agronomía Mesoamericana 14: 143-150
26. Garcia F.O.-2010.- Requerimientos nutricionales y diagnóstico de la fertilización del cultivo de trigo. INPOFOS-INPI. 69-72.
27. González, L.M.- 2005.- Evaluación de la tolerancia a la sequía en genotipos obtenidos en Cuba por inducción de mutaciones, Cultivos tropicales, 2005.
28. González L.M., Estrada, A., Zaldivar y Argente, L.- 2007.- Tolerancia a la sequia en diferentes variedades de trigo sobre la base de algunas variables del régimen hídrico y la concentración de pigmentos en estadio de plántula. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. La Habana Cuba. 16(001):45-49.
29. Gutierrez, G.A., Carballo, C.A., Mejia, C.J., Vargas, H.M., Trethowan, R. y Villaseñor, M.E.- 2006.- Caracterización de trigos harineros mediante

parámetros de calidad y fisiología de la semilla. México. Agricultura Técnica en México 32(1):45-55.

30. Henckel. P.A., Adanova, K.A.; Levin, V.V.- 1970.- Acerca de un nuevo laboratorio para el diagnóstico de la resistencia al calor y a la sequia con fines de selección. *Fisiología Vegetal* 17:2: 327-328.
31. Heydercker W., Higgins J., Gulliver R.L. 1973. Accelerated germination by osmotic seed treatment. *Nature* (246): 42-44.
32. Heydercker W., Higgins J. Tuner Y.J.- 1975.- Invigoration of seed?. *Seed Sci. Technol.* 29:881-888.
33. Ho, M.D., J.C. Rosas, K.M. Brown y J.P. Lynch. 2005. Root architecture tradeoffs for water and phosphorus acquisition. *Funct. Plant Biol.* 32, 737-748.
34. Huang, B. y J.D. Fry. 1998. Root anatomical, physiological, and morphological responses to drought stress for tall fescue cultivars. *Crop Sci.* 38: 1017-1022.
35. Huang, B. y H. Gao. 2000. Root physiological characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivars. *Crop Sci.* 40, 196-203.
36. Hurd, E. A. 1974. Phenotype and drought tolerance in wheat. *Agric. Meteorology* 14: 34-55.
37. International Seed Testing Association (ISTA). 1999. International rules for seed testing. *Seed Sci. Technol.* 27 suplement. 288 p.
38. Jaspeado, R. 1900. Trigo providencial. Oficina tipográfica del gobierno en la escuela de artes y oficios. Toluca, Edo de México. P 19 .



39. Khan A.A.-1992.- Preplant physiological seed conditioning. Hort. Rev. 14:131-181.
40. Kukreja, S., A. Nandwal, N. Kumar, S. Sharma, S. Sharma, V. Unvi y P. Sharma. 2005. Plant water status, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> scavenging enzymes, ethylene evolution and membrane integrity of *Cicer arietinum* roots as affected by salinity. Biol. Plant. 49(2), 305-308.
41. Khan A.A., Tao K.L., Knypl J.S. Borkowska B., Powell L.E., 1978. Osmotic conditioning of seed: physiological and biochemical changes. Acta Hort. 83: 267-278.
42. Kent, N.L. 1983. Technology of cereals: An introduction for students of food science and agriculture. Pergamon Press Ltd, Oxford. Pp.13
43. Kirigwi, F. M.- 2004.- Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. Euphytica 153 (3) 361-371
44. Kumar, A., D. Sing y P. Sing. 1994. Influence of water stress on photosynthesis, transpiration, water use efficiency and yield of *Brassica juncea* L. Field Crops Res. 37, 95-100.
45. Laynez, G. J., Mendez, N. J., Mayz F. J.- 2008.- Efecto potencial osmótico y del tamaño de la semilla sobre la germinación y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de laboratorio. México. Revista especializada en ciencias químico-biológicas. 11(1):26-34.
46. Lanfond, G.P. and Baker.R.J. 1986. Effects of genotype and seed size on speed of emergence and seedling vigour in nine spring wheat cultivars. Crop Sci. 26:341-346.

47. Luna, F.M. y Gutiérrez, J.R.- 2000 .- Investigación fisiotécnica de maíz de temporal en la región alta del norte de México. Rev. Fitotec. Mex. 23: 195-210.
48. Machado, A.- 2004.-Estrés hídrico, mecanismos de resistencia y tolerancia a la sequia, universidad de Granma.216-240.
49. Madueño, M. A., García, P. J., Martínez, H. J., Rubio, T. C.-2006.- Germinación y crecimiento de frijolillo *Rhynchosia minima* (L.) DC con diferentes potenciales osmóticos. *TERRA Latinoamericana*. 24 (2):187-192
50. Manguire, J.D. 1962. Speed of germination- and selection and evaluation for emergence and vigour. *Crop Science* 2: 176-177.
51. Manguire ,J.D. 1981. Evaluation of techniques for germination and vigour studies. *Seed Sci. and Technol.* 9 (2): 543-551
52. Martínez, R.-2004.- Mejora de la estabilidad dimensional de la Madera de Quebracho blanco *Aspidosperma quebracho- blanco Schlecht*. Mediante el uso de tanino y polietilen-glicol. *Revista de Ciencias Forestales*. 11: 73
53. Méndez N., J.R, Ibarra P., F.T. & Merazo P., J.F. 2002. Germinación de semillas y desarrollo de plántulas de tres híbridos de maíz (*Zea mays* L.) bajo soluciones osmóticas IV. Manitol. VI Festival del Maíz. VI Jornada Científica Nacional del Maíz. Del 20 al 23 de noviembre del 2002. Maracay, Estado Aragua.

54. Mora, A.R., Ireta, H. M., Rodriguez, P.J. y Martinez, S. J. 2006. Acondicionamiento osmótico en semillas de *Brassica oleracea* L. Rev. Chapingo. Serie horticultura, 12 (001): 105-112.
55. Mora, A.R., Rodriguez, J.E., Peña, A., Campos, D.A. 2004. Acondicionamiento osmótico de semillas de papa (*Solanum tuberosum* L.) con soluciones salinas. Revista Chapingo Serie Horticultura 10(1):103-128.
56. Moreno M. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas UNAM, Mexico, pp: 103-128.
57. Moreno M., E. 1984. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. México, D.F., México. 383 p.
58. Morgan J.M.-2004.- Osmoregulation as a selection criterion for drought tolerance in wheat, Australian Journal of Agricultural Research, 34(6): 607-614.
59. Muhammad J., Deog D L, Kwang Y. J., Muhammad A., Sheong .L., and Eui S.- 2006.- Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of four vegetables species. Journal of central European Agriculture 27:2:273- 282
60. Mukandama, j.p. -2005.- Empleo de rayos gamma del  $^{60}\text{Co}$  para la obtención de genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), con alto potencial productivo en condiciones de bajos suministros de agua. La Habana, Cuba. Tesis doctorado en ciencias agrícolas.

61. Muñoz, B. 1999 patrones morfológicos y fisiológicos en semillas de algunas especies arbóreas pioneras. Tesis de maestría, Instituto de ecología y sistemática, La Habana , Cuba.
62. Nieman H.R. 1965. La expansión de las hojas de frijol y su supresión por la salinidad. *Planta Fisiología*, 40, 156-161pp.
63. Oral, E. y Peppas, N.A.- 2004.- Dynamic studies of molecular imprinting polymerizations., *Polymer*, 45:6163-6173 pp.
64. Ortega, P. V. y Reina, M.J.-2005.- Estudio de la producción, germinación, contenido de proteínas y nutrientes minerales de las semillas de diferentes especies de *Aegilops* (trigo silvestre). *Revista Digital Investigación y Educación* 3:20:5-64
65. Parera A. C. and Cantliffe, J.D.- 1994.- Presowing seed priming. *Horticultural Review* 16:109-141.
66. Rao, I .-2000.- Limitaciones edáficas y climáticas para la producción de frijol común (*Phaseolus vulgaris*). Manejo productivo de suelos para cultivos de alto rendimiento. (pp. 95-106). Sociedad colombiana de la ciencia del suelo. Comité regional del Valle del Cauca. Cali. Colombia.
67. Rees, M. 1997. Seed dormancy. In *plant ecology*. Crawley, M. (Ed.) Blackwell Science, London, pp. 214-238.
68. Ritchie, GA. y Dunlap, JR. 1980. Root growth potential: its development and expression in forest tree seedlings. *N. Z. J. For. Sci.* 10:218-248.
69. Rojas, G. M. 2003. La Resistencia a la sequía. *Revista Ciencia UANL*. 6 (3): 326-331

70. Rook, DA. (1973). Conditioning radiata pine seedlings to transplanting by restricted watering. *N.Z. J. For. Sci.* 3:54-69.
71. Russi, D., Bartosik, R., Rodriguez, J. y Peretti A.- 2007.- Adaptación del test del tetrazolio para la detección rápida de daño en la calidad del trigo por las altas temperaturas durante el secado. IX Congreso Argentino de Ingeniería Rural y I del MERCOSUR, Facultad de Ciencias Agrarias de Balcarce. Córdoba, Argentina.
72. Sánchez, J., Mejía, J. A., Hernández, A., Peña, A. y Carballo, a. 2007. Acondicionamiento osmótico de semillas de tomate de cáscara. *Agricultura Técnica en México.* 33 (002): 389-397.
73. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) 2000. Sistema de información Agropecuaria de consulta (SIACON). Centro de Estadística Agropecuaria.
74. SAGARPA. 2004. Anuario estadístico de producción y comercialización de trigo.
75. Simpson, DG.; Thompson, CF. y Sutherland, CG. (1994). Field performance potential of interior spruce seedlings: effects of stress treatments and prediction by root growth potential and needle conductance. *Can. J. For. Res.* 24:576-586.
76. Sponchiado, B., J. White, J. Castillo y P. Jones. 1989. Root growth of four common bean cultivars in relation to drought tolerance in environments with contrasting soil types. *Exp. Agric.* 25, 249-257.

77. Stewart, J.D. y Lieffers, V.J. (1993). Preconditioning effects of nitrogen relative addition rate and drought stress on container-grown lodgepole pine seedlings. *Can. J. For. Res.* 23:1663-1671
78. Stepanova, A. y J. Alonso. 2005. Ethylene signalling and response pathway: a unique signaling cascade with a multiple of inputs and outputs. *Physiol. Plant.* 123, 195-206.
79. Turner, N.C. 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. pp. 343-372. En: Mussell, H. y R.C. Staples, (eds.). *Stress physiology in crop plants.* Wiley Interscience, New York, NY.
80. Turrent, F.A., Cortes, J.I., Mendoza, R. Alonso, A., Barcenas, S., Inzunza, I.E. y Estrella, Ch. N.- 1994- Desarrollo de un prototipo de explotación agropecuaria familiar para el Distrito Rural de Cholula, Plan Puebla. Centro de edafología, CEICADAR, Colegio de Posgraduados, Montecillos, Edo. De México.
81. Van den Driessche, R. (1992). Changes in drought resistance and root growth capacity of container seedlings in response to nursery drought, nitrogen, and potassium. *Can. J. For. Res.* 22:740-749.
82. Villaseñor M., H. E. 2000. Importancia del trigo. *In: El Trigo de Temporal en México.* Villaseñor M., H. E., y Espitia R., E. (eds.). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación del Centro (CIRCE), Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Estado de México, México. p. 7-24. (Libro Técnico No. 1).
83. Villaseñor, H. E., y Espitia R., E. 2000. Características de las áreas productivas de trigo de temporal: problemática y condiciones de producción. *In: El trigo de temporal en México.* Villaseñor M., H. E., y Espitia R., E. (eds).

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, Instituto, Nacional de Investigaciones, Forestales (INIFAP), Agrícolas y Pecuarias (SAGARPA), Centro de Investigación del Centro, Campo Experimental Valle de México.

84. Villaseñor, H. E., Espitia, R. E., Huerta, J., Solís, M. E., González, I. R., Osorio, A. L. Y Pérez, H. P. 2007. Triunfo F2004, Nueva variedad de trigo harinero de temporal en México.
85. Willenborga. C.J., Wildeman, J.C., Miller, A.K., Rosnagel B.G. y Shirtliffe, S.J.- 2005.- Oat germination characteristic differ among genotype, seed size, and osmotic potentials. *Crop Sci* 45: 295-311.
86. White, J. and J. Castillo. 1989. Relative effect of root and shoot genotypes on yield of common bean under drought stress. *Crop Sci.* 29, 360-362.