

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**

**DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA**



Efecto del Polietilenglicol en la Respuesta Fisiológica y Hormonal de Líneas Elite de Trigo (*Triticum aestivum* L.) con Tolerancia a Sequía

Por

**NORMA ARACELI SÁNCHEZ VARELA**

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA**

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA

Efecto del Polietilenglicol en la Respuesta Fisiológica y Hormonal de Líneas Elite  
de Trigo (*Triticum aestivum* L.) con Tolerancia a Sequía

Por:

**NORMA ARACELI SÁNCHEZ VARELA**

Tesis

Presenta como requisito parcial para obtener el título de:

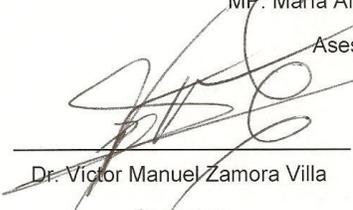
**INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA**

Aprobada



MP. María Alejandra Torres Tapia

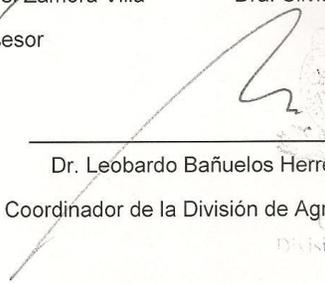
Asesor Principal

  
Dr. Victor Manuel Zamora Villa

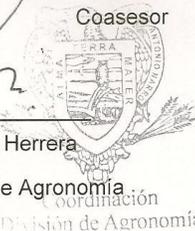
Coasesor

  
Dra. Silvia Yudith Martínez Amador

Coasesor

  
Dr. Leobardo Bañuelos Herrera

Coordinador de la División de Agronomía

  
Coordinación  
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2012

## DEDICATORIA

### *A Dios*

*Por darme la vida e iluminar mi camino permitiéndome culminar mis estudios profesionales, por la bendición de tener una familia y por enviarme a mi hijo ese rayito de luz que alumbró mi vida.*

### *A la Virgen de Guadalupe*

*Muchas Gracias, por escucharme y estar cerca de mí en los buenos y malos momentos, por darme el valor para levantarme y seguir adelante.*

### *A mi Mamá Estela Varela Robles*

*Especialmente le dedico este trabajo con todo el amor, admiración y respeto que merece, por ser un ejemplo de amor y fortaleza, a usted que con su esfuerzo y sacrificio trabajó para darme lo mejor, por todo el apoyo que me brindó a lo largo de mi formación profesional, por su amor incondicional, confianza y comprensión. Doy gracias a Dios y a la vida por tener una Mamá como usted.*

*¡Gracias y que Dios la bendiga!*

### *A mis hermanos Francisco Javier, Mary Cruz y José Mario*

*Por todo su cariño y ser una inspiración para culminar mis estudios, por estar a mi lado en todo momento y compartir las tristezas y alegrías, les recuerdo que pase lo que pase saldremos adelante ¡Muchas Gracias Los Amo!*

*A mi hijo Alejandro Emmanuel*

*Por ser la bendición más grande que me mando Dios y llenar mi vida de fe, esperanza y alegría, por ser lo más valioso que tengo y la fuente de mi constante motivación para seguir superándome, Gracias por todo lo que me has enseñado ¡TE AMO, DIOS TE BENDIGA!*

*A mi esposo José Alejandro*

*Por su grande amor y paciencia, apoyo incondicional para la culminación de este trabajo, Gracias por estar en mi vida y por ser una gran persona. ¡Te Amo!*

*“No hay mente tan astuta como la evidencia  
que la Naturaleza nos ofrece”*

*José Martí*

## AGRADECIMIENTOS

*A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro mi “Alma Mater” de la cual siempre me sentiré orgullosa de haber sido parte, por permitirme realizar uno de mis más grandes anhelos de mi vida al darme la oportunidad de formarme profesionalmente. ¡Muchas Gracias!*

*A la MP. María Alejandra Torres Tapia, por su confianza, dedicación, paciencia y apoyo brindado para la realización de este trabajo de investigación, agradezco mucho todos los conocimientos compartidos. ¡Gracias y que Dios la bendiga!*

*Al Dr. Víctor Manuel Zamora Villa, le agradezco mucho el tiempo, sugerencias y observaciones para la culminación de este trabajo.*

*A la Dra. Silvia Yudith Martínez Amador por su valiosa colaboración y revisión de este trabajo y por ser parte de mi formación académica. ¡Muchas Gracias!*

*A Ing. Evangelina García Moreno, por su amistad, cariño, confianza y apoyo para seguir estudiando, a pesar de la distancia siempre la recuerdo, la Quiero Mucho, Gracias.*

*A mis abuelitos Angelina, José, Álvaro † y Antonia, por su cariño, consejos, perseverancia y ejemplo de constante trabajo, ¡Los Quiero Mucho!*

*A mis Padrinos Agripina y Serafín, por considerarme como una hija y hacerme pasar los momentos mas felices de mi infancia, por su cariño y consejos, siempre los tengo en mi corazón, ¡Los Quiero Mucho!*

*A mis Amigos, Luis Enrique, Rocío, Ana Laura, Lino, Elvia, Lucina, Rosibel, Olivia, Rosa Gloria, Esli, Diana, Hilario, Favian, Gabriel, Cecy, Martha, Lidia, Dalía, José Manuel, Magda y Mary Carmen, por compartir todos los momentos de alegría, preocupación, estrés, desvelos por cada una de las aventuras que convivimos juntos.*

*A ti Enrique “Niño Mugrosito” en especial por ser como un hermano y estar siempre a mi lado apoyándome y alentándome para seguir adelante, nunca cambies el gran corazón que tienes Muchas Gracias por todo. A ti Rocío a quien quiero como una hermana te agradezco por permitirme ser tu amiga y tu valioso apoyo que siempre me has brindado, eres una buena persona por tu gran nobleza.*

*A todos los maestros que me dieron sus conocimientos y tiempo a lo largo de mi formación académica, especialmente aquellos que me brindaron su amistad y consejos para ser mejor persona.*

*A todas aquellas personas que aunque no nombro, familiares, conocidos, amigos y compañeros que forman parte de vida, brindándome amistad, cariño, apoyo, una palabra o sonrisa de aliento. De todo corazón ¡GRACIAS!*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	v
ÍNDICE DE CUADROS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
RESUMEN .....	ix
I.- INTRODUCCIÓN .....	1
Objetivo General .....	3
Hipótesis .....	3
II.- REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
Importancia del Trigo .....	4
Producción Mundial de Trigo .....	5
Producción Nacional de Trigo .....	6
Efectos provocados por Sequía .....	8
Selección de Materiales .....	11
Adaptación Fisiológica .....	13
Efecto Hormonal en condiciones de Sequía .....	14
Germinación de Semillas .....	14
Función de Auxinas .....	16
Polietilenglicol como Simulador Osmótico .....	16
III.- MATERIALES Y MÉTODOS .....	22
Ubicación del Sitio Experimental .....	22
Material Genético .....	22
Tratamientos .....	23
Procedimiento .....	24
Variables Evaluadas .....	25
Diseño Experimental .....	27
IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	29
V.- CONCLUSIONES .....	57
VI.- LITERATURA CITADA .....	59

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
3.1	Relación de las diez líneas elite de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) evaluadas en condiciones de Laboratorio .....	23
3.2	Identificación de los tratamientos aplicados a diez líneas estudiadas.....	23
3.3	Concentraciones de polietilenglicol (PEG-8000) para la elaboración de los tratamientos evaluados .....	24
4.1	Cuadros medios y significancia del análisis de varianza para las variables de Capacidad de Germinación en Condiciones de Laboratorio.....	29
4.2	Cuadros medios y significancia del análisis de varianza para las variables de Vigor en Condiciones de Laboratorio.....	45
4.3	Cuadros medios y significancia del análisis de varianza para la variable de Auxinas en Condiciones de Laboratorio .....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
4.1	Comparación de medias para las líneas estudiadas de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) sometidas en diferentes potenciales osmóticos en la variable de Plántulas Normales (PN) en condiciones de Laboratorio.....	30
4.2	Comparación de medias para los tratamientos estudiados en la variable de Plántulas Normales (PN) en condiciones de Laboratorio.....	32
4.3	Respuesta de la capacidad de germinación de Plántulas Normales (PN) en la interacción de diez líneas elite de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) en diferentes potenciales osmóticos.....	33
4.4	Comparación de medias para las líneas estudiadas de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) sometidas a diferentes potenciales osmóticos en la variable de Plántulas Anormales (PA) en condiciones de Laboratorio.....	36
4.5	Comparación de medias en los tratamientos estudiados en la variable de Plántulas Anormales (PA) en condiciones de Laboratorio.....	37
4.6	Respuesta de la capacidad de germinación en Plantulas Anormales (PA) en la interacción de diez líneas elite de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) en diferentes potenciales osmóticos.....	38
4.7	Comparación de medias para las líneas estudiadas de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) sometidas en diferentes potenciales osmóticos en la variable de Semillas sin Germinar (SSG), en condiciones de Laboratorio.....	41
4.8	Comparación de medias en los tratamientos estudiados en la variable de Semillas sin Germinar (SSG) en condiciones de Laboratorio.....	42

4.9	Respuesta de la capacidad de germinación en Semillas sin Germinar (SSG) en la interacción de diez líneas elite de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) en diferentes potenciales osmóticos .....	43
4.10	Comparación de medias para las líneas estudiadas de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) sometidas a diferentes potenciales osmóticos en la variable Longitud Media de Radícula (LMR) en condiciones de Laboratorio .....	46
4.11	Comparación de medias en los tratamientos estudiados en la variable de Longitud Media de Radícula (LMR) en condiciones de Laboratorio.....	47
4.12	Respuesta de la Longitud Media de Radícula (LMR) en la interacción de diez líneas elite de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) sometidas a diferentes potenciales osmóticos .....	48
4.13	Comparación de medias para las líneas estudiadas de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) sometidas a diferentes potenciales osmóticos en la variable Longitud Media de Plúmula (LMP) en condiciones de Laboratorio .....	51
4.14	Comparación de medias en los tratamientos estudiados en la variable de Longitud Media de Plúmula (LMP) en condiciones de Laboratorio.....	52
4.15	Respuesta de la Longitud Media de Plúmula (LMP) en la interacción de diez líneas elite de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) en diferentes potenciales osmóticos.....	53
4.16	Comparación de medias para las líneas estudiadas de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) sometidas a diferentes potenciales osmóticos en la variable de Auxinas en condiciones de Laboratorio.....	56
4.17	Comparación de medias en los tratamientos estudiados en la variable de Auxinas (AIA) en condiciones de Laboratorio .....	57
4.18	Respuesta del contenido de Auxinas en la interacción de diez líneas elite de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) en diferentes	58

potenciales osmóticos

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad fisiológica de diez líneas de trigo (*Triticum aestivum* L.) con características de tolerancia a sequía aplicando diferentes concentraciones de polietilenglicol, dicho trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Producción de Semillas del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones, los tratamientos fueron 1bar, -1.5 bares, -3 bares de polietilenglicol y un testigo, se colocaron 25 semillas en cajas Petri en papel humedecido con la concentración correspondiente durante 7 días, posteriormente se determinaron plántulas normales (PN), plántulas anormales (PA), semillas sin germinar (SSG), longitud media de radícula (LMR), longitud media de plúmula (LMP) y contenido de auxinas (AIA). Se observó que a medida que se aumentó la concentración de PEG la capacidad de germinación disminuye considerablemente, incrementando las SSG; las líneas AN-343, AN-355 y AN-357 presentaron mejor respuesta en la germinación, estos dos últimos materiales sobresalieron en LMR al igual que AN-360 y 363 al obtener las radículas más grandes, mientras que AN-355 también logró el mayor contenido de auxinas, todos estos materiales superaron al testigo; sin embargo las líneas fueron más afectadas a -3 bares indicando baja tolerancia a sequía. Las concentraciones tuvieron un efecto positivo en LMR y un efecto negativo en SSG. Con la aplicación de polietilenglicol es posible seleccionar materiales con tolerancia a sequía.

**Palabras clave:** *Triticum aestivum* L., Polietilenglicol, Resistencia, Sequía Germinación.

## I.- INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el trigo (*Triticum aestivum* L.), es una de las fuentes de alimentación de grano primordiales para los seres humanos que junto con el maíz y el arroz es uno de los más importantes por su producción en volumen de comercialización en muchos países (Curtis, 2002), por ser el cereal de mayor consumo en el mundo, teniendo una demanda de 558 millones de toneladas anuales y se estima que para el año 2020 la demanda aumentará los 775 millones de toneladas por año (Pingali, 1999).

En los últimos años, el cultivo de trigo ha registrado una disminución en su rendimiento a causa del trastorno del cambio climático, dando lugar en algunas zonas comerciales, la prolongación de la temporada de sequía (Villaseñor *et al.*, 2007; SAGARPA 2004). Este trastorno puede afectar el ciclo de vida de cualquier cultivo, provocando daños en el desarrollo y crecimiento de las plantas, también conocido como estrés hídrico, considerado en la agricultura uno de los efectos de mayor impacto negativo en el comercio de grano (Limón *et al.*, 2010); que en el caso del cultivo de trigo, desafortunadamente a afectado fuertemente la producción y provocando un bajo rendimiento, teniendo grandes pérdidas económicas puesto que muchos agricultores tienen su base de sobrevivencia en este cultivo. Datos de SAGARPA (2004), registra que la producción de trigo de temporal en México en los

últimos años se ha tornado irregular e insuficiente, debido a una deficiente precipitación pluvial alargando los periodos de sequía.

Por lo anterior, se ha considerado una problemática general que concierne a todos los ámbitos, sociales y científicos; por lo que se han generado diferentes estudios de producción, rendimiento, selección de recursos o mejoramiento genético, con la finalidad de reducir este efecto. Algunos de ellos se han realizado bajo condiciones de laboratorio en donde el déficit hídrico se puede simular mediante el uso de soluciones con potenciales hídricos definidos, tal es el caso del manitol, cloruro de sodio, sacarosa entre otros, para este trabajo se utilizó el polietilenglicol considerado por Lawlor, (1970) como un polímero neutro disponible en diferentes pesos moleculares, soluble en agua y con baja toxicidad a los mamíferos, utilizado para imponer el estrés hídrico en plantas. Las pruebas de plántulas y el cultivo de plantas bajo estrés osmótico conducen a la selección de genotipos tolerantes a sequía, considerada una alternativa de gran valor para la explotación en áreas propensas a sequía (Radhouane 2007; Méndez *et al.*, 2010).

Por ello, el Programa de Cereales del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ha generado y seleccionado a lo largo de diez años, líneas con características fisiológicas favorables de tolerancia a sequía, con el propósito de disponer de mayor número de materiales genéticos para los pequeños productores, por lo que el presente trabajo tiene la finalidad de seleccionar líneas elite de trigo experimentales mediante la evaluación de su respuesta o comportamiento bajo condiciones de estrés hídrico mediante pruebas de germinación y vigor bajo el siguiente objetivo e hipótesis.

## **OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar diez líneas elite de trigo con características de tolerancia a sequía en diferentes concentraciones de polietilenglicol mediante su respuesta fisiológica en condiciones de laboratorio.

## **HIPÓTESIS**

- Al menos una de las líneas estudiadas tendrá una mejor respuesta fisiológica con resistencia a sequía en una de las concentraciones de polietilenglicol.

## II.- REVISIÓN DE LITERATURA

### **Importancia del Trigo**

Los cereales son considerados como la base de las grandes civilizaciones porque constituyeron una de las primeras actividades agrícolas humanas. Los cereales contienen almidón que es el componente principal de los alimentos humanos. El germen de la semilla contiene lípidos en proporción variable que permite la extracción de aceite vegetal de ciertos cereales.

El cultivo de trigo es importante para el hombre desde que se hizo sedentario ya que le permitió arraigarse en sitios específicos y tener alimento para sus comunidades, principalmente por su fácil reproducción y conservación, su diversidad de usos y su valor nutritivo, situación que en la actualidad mantiene a este cereal en el primer plano en la producción mundial de alimentos (Villaseñor, 2000). De igual manera Curtis (2002), considera al trigo uno de los primeros cultivos de alimentos domesticados y básico de las civilizaciones más importantes de Europa, Asia Occidental y África del Norte. Hoy en día, se cultiva más que cualquier otro cultivo comercial.

La producción de este cereal radica en su contribución para la alimentación básica de la población, como una de las tres fuentes de bajo costo después del maíz y el frijol en la dieta de los mexicanos sobre todo para las poblaciones rurales y de

escasos recursos (Peña *et al.*, 2008). En este mismo contexto el CNCTB D.C. (2006), menciona que ha sido el soporte fundamental del empleo e ingresos de buena parte de las familias de economía campesina.

De acuerdo a lo antes mencionado, SAGARPA (2000) consideran que después del maíz, el trigo también es muy importante para la dieta alimentaria del pueblo mexicano, contiene además nutrientes y valor energético en mayor cantidad que los demás granos y nutricionalmente sólo es comparable con la avena. En la alimentación de la sociedad mexicana es la base para la elaboración de productos finales como pan, pasteles, tortillas, galletas y pastas, entre otros. En términos del contenido de nutrientes es superior a los demás granos, teniendo un contenido de proteína 10.6 gramos, seguido por el maíz con 7.9 gramos y del arroz de 7.4 gramos.

### **Producción Mundial de Trigo**

Según estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2006) la producción mundial de cereales en el año 2000 alcanzó unos 2.057 millones de toneladas, de los cuales 971 millones estuvieron destinados al consumo humano. Sin embargo en el año 2006 la producción mundial de trigo sufrió un descenso de 10 millones de toneladas.

Para Pingali (1999), es el cereal de mayor consumo en el mundo, con una demanda de 558 millones de toneladas anuales y se estima que para el año 2020 la demanda mundial alcanzara los 775 millones de toneladas anuales.

De acuerdo con su volumen de producción, el trigo ocupa el segundo lugar en el mundo, después del maíz. Durante el periodo de 1990/1991-2003/2004, la

producción mundial promedio se ubico en 568.6 millones de toneladas, otro dato importante fue la producción reportada en 1997/1998, año en que se obtuvieron 610 millones de toneladas (SIAP, 2005).

Se estima que en el año 2005 el trigo tuvo un registro de 628.1 millones de toneladas, los principales países productores fueron China 96.3, India 72, Estados Unidos 57.1, Rusia 47.7 millones de toneladas. En el 2002 las exportaciones de trigo ascendieron a 121.3 millones de toneladas siendo los principales países líderes exportadores Estados Unidos 20%, Australia 12.1%, Francia 11.3% y Canadá 10.1%, seguidos por Argentina, Rusia y Ucrania. Por otra parte se menciona que en el año 2002 los países importaron más de 1 millón de toneladas. Los mayores importadores de trigo fueron Italia 6.5%, Brasil 5.5%, España 5.3%, Argelia 5%, Japón 4.9%, entre otros (SAGARPA, 2006).

Todas estas tendencias y expectativas muestran la importancia que ha adquirido y que tendrá la producción de trigo en el mundo para todo tipo de sociedades, ya que al ser un cereal que por sus características se puede consumir en una gran variedad de formas resulta primordial en la dieta diaria.

### **Producción Nacional de Trigo**

A pesar de que México no es un productor importante de trigo en el mundo, este cultivo es realmente valioso para la dieta de la población nacional, por lo que su producción y comercialización si resultan de gran importancia para el país y beneficia de manera directa e indirecta ramas de la industria, pues al ser un producto cuyos

derivados son muy variados existen diversas industrias que lo procesan ya sea para consumo humano o animal.

SAGARPA (2000), reporta una producción total mexicana de trigo durante los últimos diez años (1991-2000) de 35.7 millones de toneladas, concentrándose cerca del 85% de la producción en los estados de Sonora 35%, Guanajuato 17.5%, Baja California 11.5%, Sinaloa 9.2%, Michoacán 6.4% y Jalisco 4.4%.

En la última década la producción aumento de 750 000 toneladas en 1996 a 3 000 000 en 2004 para satisfacer la demanda de 6 000 000 de toneladas anuales, es importante señalar que rendimiento de trigo en México es prácticamente de 5 ton/ha (SIAP, 2004-2005).

El cultivo de trigo en México, en condiciones de riego en el ciclo otoño-invierno, aporta el 94% de la producción nacional, principalmente por los estados de Sonora, Baja California Sur y Guanajuato (SAGARPA, 2004). La superficie total que se siembra en México es de 506 999 ha, lo que representa una demanda anual potencial de 150 000 toneladas de semilla, para las áreas de riego se satisface fácilmente con alta tecnología, pero sin embargo representa un problema obtener este insumo para la siembra de temporal (Gutiérrez *et al.*, 2006). En el año 2006 los estados de Tlaxcala, Guanajuato, Estado de México, Zacatecas y Oaxaca produjeron aproximadamente 262 mil toneladas, equivalentes a mas del 90 % del volumen cosechado en este ciclo (SIAP, 2007).

## **Efectos provocados por Sequía**

Recientemente la FAO (2011), señala que en los últimos años se ha incrementado tanto la frecuencia como la gravedad de los episodios de sequía y se prevé que las zonas afectadas aumenten en extensión. Es la causa más común de la escasez de alimentos. Entre las repercusiones en la agricultura se incluyen las pérdidas de cultivos, la reducción del rendimiento de la producción agrícola como pecuaria, el aumento de plagas y enfermedades, así como la degradación de la tierra y la erosión del suelo.

La reducción de la superficie sembrada y de la producción de trigo en México se refleja en el desabasto nacional, y fue consecuencia de la problemática que ha tenido este cereal sembrado bajo condiciones de riego, en donde se destacan los problemas fitopatológicos como el carbón parcial que ha limitado seriamente la siembra de trigo harinero en Sonora y Sinaloa, así como escasez de agua para la siembra, ya sea por la baja captación de lluvia por escurrimiento de las principales obras hidrológicas o debido al encarecimiento del agua de bombeo por los altos costos de extracción y por último por la baja rentabilidad del cultivo como consecuencia del incremento de los costos de inversión y de la baja del precio de la cosecha (Villaseñor y Espitia, 2000).

De acuerdo con SAGARPA (2004), la producción de temporal de trigo en México corresponde el 6%, sin embargo en el ciclo primavera-verano en los estados de Tlaxcala, Estado de México y Guanajuato en los últimos años la distribución de lluvias se ha tornado irregular e insuficiente, esto provocado por los periodos de sequía.

De igual forma, Jacobsen y Mujica (1999), establecen que en la agronomía la sequía puede definirse como la falta de humedad que afecta el normal crecimiento y desarrollo de la planta, así como sus principales funciones. Esta situación disminuye su potencial productivo o el rendimiento de sus órganos que constituyen la fuente principal de uso para el hombre.

La falta de agua puede provocar un retraso y la reducción en la germinación de semillas o puede impedirla por completo. También el estrés de humedad afecta todos los aspectos de crecimiento de las plantas y el metabolismo (Turk *et al.*, 2004).

Por su parte Limón *et al.*, (2010) manifiestan que la sequía puede afectar a la planta en cualquier etapa fenológica de su desarrollo, normalmente disminuye la producción y si el déficit es demasiado severo y continuo la planta no cuenta con mecanismos de defensa, tolerancia o resistencia y puede morir. Mismos autores consideran que desde el punto de vista agronómico el problema de la productividad y calidad de grano de trigo de temporal es provocado por los sistemas de siembra que se utilizan así como la aplicación de fertilizantes, sequia y otros insumos.

INEGI (2007), mencionan que la sequía es uno de los eventos mas complejos y que día con día impacta a mas personas en el mundo, además de sus efectos directos en la producción, puede también afectar el abastecimiento de agua, forzar a las poblaciones a emigrar, e incluso causar hambruna y muerte de personas, es importante mencionar que las consecuencias pueden prevalecer por varios años, con un efecto negativo en el desarrollo.

De acuerdo con la CONAGUA (2011) las sequías han impactado en forma severa la producción agrícola y ganadera en nuestro país.

Lo anterior se relaciona con lo mencionado por MONSANTO (2004) respecto a que todos los años muchos cultivos de agricultores en todo el mundo se ven afectados por el estrés por sequía y en muchos de los casos pueden ser enormes pérdidas agrícolas debido a las sequías intensas e incluso la falta de disponibilidad de agua puede reducir la producción y poner en riesgo la capacidad de que los productores recuperen la inversión realizada en sus cultivos.

Por otro lado SAGARPA (2011) reporta que Sinaloa uno de los principales productores de maíz, base de la tortilla y elemento en el dieta de los mexicanos reducirá la producción de este grano al cierre del 2011 por escasez de agua. Debido al bajo nivel de agua que se registra en las 11 presas del estado, para el ciclo agrícola otoño-invierno se establecerá una superficie de siembra de 318, 000 hectáreas de maíz, 40% menos de lo tradicionalmente programado cada año. Las bajas temperaturas registradas en el norte del país provocaron que Sinaloa perdiera el 70% de las cosechas de diversos cultivos.

SEDESOL (2012) informó que en nuestro país, Septiembre fue uno de los meses más secos en los últimos 70 años, y señala que en 28 estados del país han sido afectados por la falta de lluvias, así también menciona que es la sequía mas cruda que no se vivía desde 1941 y se da principalmente en los estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León y Zacatecas.

## **Selección de Materiales**

El mejoramiento genético de trigo en México se inicio a través de la selección de los mejores genotipos. En la década de los cuarenta se inicio el mejoramiento formal y continuo, que arrojó beneficios como lograr la autosuficiencia en 1957 y alcanzar en 1985 la producción record que paso los cinco millones de toneladas, gracias al desarrollo tecnológico. El mejoramiento de plantas data desde el tiempo neolítico, cuando el hombre, mediante la domesticación y selección, aplicó los principios elementales del mejoramiento genético, con el fin de abastecerse de alimentos y satisfacer sus necesidades (Villaseñor, 2000).

Se puede considerar a México como uno de los países más importantes del mundo en cuanto al mejoramiento genético del trigo. En ese sentido las variedades de trigo que se desarrollan y utilizan en nuestro país y en algunas partes del mundo, tienen como propósito incrementar el rendimiento, lograr una mayor resistencia a la sequía y ser de alta calidad para la industria (SIAP, 2005).

Debido a la importancia del trigo en alimentación y a su gran variabilidad genética, esta especie ha sido incluida en programas de mejoramiento con el fin de desarrollar genotipos mejorados para diversos ambientes. Una parte fundamental en este proceso es la evaluación de genotipos es el rendimiento.

Sin embargo actualmente la sequía frecuentemente limita la producción de trigo, y el desarrollo de cultivares tolerantes se ve obstaculizado por la heredabilidad baja para la tolerancia a la sequía y la falta de estrategias de selección eficaces (Kiringwi *et al.*, 2004). Los mismos autores mencionan que la búsqueda de especies y variedades tolerantes a sequía constituye una de las vías importantes, considerada por los investigadores y productores una herramienta para la explotación de las

áreas donde las sequías son frecuentes o no se cuenta con el suministro de agua necesaria.

La selección y siembra de variedades de ciclo corto, resistentes a sequía y a enfermedades son una estrategia para reducir el efecto negativos de los diferentes factores que limitan un mayor rendimiento y alta calidad industrial (Villaseñor, 2000). El cultivo de plantas tolerantes a estrés hídrico, es una alternativa de gran valor para explotación en áreas propensas a la escasez de agua (Méndez *et al.*, 2010).

En la investigación realizada por Avendaño *et al.*, (2008) en donde evaluaron niveles altos de estrés hídrico en maíz (*Zea mays* L.), se encontró que las variedades mejoradas han desarrollado un mecanismo de resistencia a sequía llamado latencia, mediante el cual, las plantas detienen su crecimiento en condiciones extremas de estrés, pero en el momento en que nuevamente hay humedad en el suelo, reinician su desarrollo hasta completarlo y reiniciar su metabolismo normal y crecimiento.

Por su parte Cuellar (2008), determina que el contenido relativo de agua, la conductividad estomática en las hojas, y el contenido de sacarosa y almidón en vainas de dos semanas de desarrollo en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) son parámetros fenotípicos que ameritan ser considerados en la selección de líneas con resistencia a sequía.

De igual forma los parámetros hídricos foliares y el ajuste osmótico permiten caracterizar la respuesta de las plantas frente al estrés hídrico e identificar aquellos genotipos mejor adaptados. Al caracterizar y seleccionar genotipos de trigo (*Triticum*

*aestivum* L.) resistentes a estrés hídrico, se encontró que el ajuste osmótico permite a la planta sobrevivir al estrés pero no tiene mayor rendimiento (Ortiz *et al.*, 2003). Para esto Acevedo *et al.*, (1998) mencionan que la escasez de humedad durante el periodo de crecimiento y durante el llenado de granos del trigo puede manifestar severas pérdidas de producción.

### **Adaptación Fisiológica**

Entre las plantas tolerantes a sequía se encuentran aquellas que evitan la deshidratación utilizando mecanismos morfo-fisiológicos complejos como las hojas pequeñas y cerosa; estructura que facilitan la captación del rocío o bien, raíces muy profundas, reducción del número y tamaño de estomas, cambios anatómicos en la epidermis, ubicación de los estomas en cavidades, cutículas gruesas y cerosas en combinación con tejidos suculentos, metabolismos CAM entre otras (Frensch, 1997). Los efectos fisiológicos de la deficiencia de agua en la planta causan un estado patológico general. La fotosíntesis baja al cerrarse los estomas y al faltar CO<sub>2</sub>, también disminuye por disfunción de los cloroplastos que se desintegran causando clorosis; la respiración asciende temporalmente. Estos cambios determinan descenso en el rendimiento, la floración y el llenado de granos son estados críticos y una sequía en ese momento causa un pobre rendimiento, aunque no llegue a ser muy aguda (Rojas, 2003). Menciona Villaseñor (2000), que algunas de las causas del bajo rendimiento del trigo son la escasez de agua, el ataque de enfermedades al cultivo al igual que el incremento en el costo de producción, entre otras.

## **Efecto Hormonal en Condiciones de Sequía**

Las plantas se adaptan al déficit de agua con muchos mecanismos diferentes, incluyendo cambios en la morfología, la alteración de los patrones de desarrollo así como una serie de procesos fisiológicos y bioquímicos (Haq *et al.*, 2010).

Un efecto del estrés hídrico se manifiesta con una notable disminución del contenido de giberelinas, las cuales están ligadas directamente a una serie de procesos fisiológicos en la planta (Looney, 1997).

La deficiencia de agua en la planta provoca que las enzimas se desnaturalicen, fallan las nitrato reductasas y luego cesa la síntesis de proteínas; el contenido de Ácido Abscísico (ABA) se eleva y el de citosinas baja; la falta de turgencia hace cesar el crecimiento; la precocidad aumenta. El Ácido abscísico (ABA) es una hormona que actúa sobre el ADN y se relaciona en la resistencia a la sequía, así también se involucra en el estrés hídrico la prolina y la betaína. En condiciones de estrés hídrico la prolina se acumula y se relaciona con la recuperación de la planta (Rojas, 2003).

## **Germinación de Semillas**

Las pruebas de germinación son una herramienta que permite evaluar el potencial de germinación de una semilla, siendo una base importante en el mercado ya que proporciona información valiosa sobre la capacidad fisiológica de las semillas.

La capacidad germinativa y el vigor son los principales componentes involucrados en la calidad fisiológica de la semilla. El vigor en semillas es el potencial biológico de ésta que favorece el establecimiento rápido y uniforme bajo condiciones, incluso

desfavorables de campo, la semilla presenta el mayor vigor y potencial germinativo cuando alcanza la madurez fisiológica (González *et al.*, 2008).

Copeland (1979) define la germinación como la reanudación del crecimiento activo de la semilla, donde el desarrollo de la radícula y plúmula se inicia cuando la semilla es puesta bajo condiciones adecuadas para ello.

Delouche, (2002) menciona que la germinación es el proceso fisiológico mediante el cual emergen y desarrollan, a partir del embrión, las estructuras esenciales para la formación de una planta normal bajo condiciones favorables.

Moreno, (1984) coincide con estos autores, definiendo a la germinación como la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión, y que manifiestan la capacidad de la semilla para producir una planta normal bajo condiciones favorables de luz, temperatura y humedad. Según este autor el objetivo de las pruebas de germinación es obtener información con respecto a la capacidad de las semillas para producir plántulas normales, además permiten hacer comparaciones del poder germinativo entre diferentes lotes de semillas de la misma especie.

De igual forma Besnier (1989) señala que la germinación inicia cuando en la semilla en reposo se activa la maquinaria bioquímica conservada y se desencadenan los procesos metabólicos.

Las pruebas de las plántulas bajo estrés osmótico pueden conducir a la selección de genotipos adaptados a diferentes regiones geográficas. La tolerancia de sequía durante la etapa de germinación constituye una ventaja porque conduce al

establecimiento de estas especies en zonas donde otros no son capaces de sobrevivir (Radhouane, 2007).

### **Función de las Auxinas**

Las auxinas participan de forma muy directa en el crecimiento celular, en algunos tejidos las auxinas controlan la división celular como el proceso de rizogénesis, siendo prácticamente normal en horticultura y, sobre todo en los viveros, aplicar auxinas en los esquejes favorece el enraizamiento. Las semillas en desarrollo son un importante centro de producción de Ácido indolacético (AIA). Las hojas maduras, tallos y raíces tienen la capacidad de sintetizar AIA (Barcelo *et al.*, 2003).

### **Polietilenglicol como Simulador Osmótico**

El polietilenglicol (PEG) es un polímero neutro disponible en un rango de pesos moleculares, altamente soluble en agua y con baja toxicidad a los mamíferos y debido a estas propiedades ha sido utilizado por diferentes investigadores para imponer un estrés hídrico en plantas (Lawlor 1970).

El acondicionamiento osmótico de semillas, también conocido como osmoacondicionamiento, es considerada una técnica promisorio para mejorar la germinación porque promueve un rápido establecimiento de plántulas (Marín., *et al.*, (2007). Estos mismos autores al estudiar el comportamiento del acondicionamiento osmótico sobre la calidad fisiológica de semilla de cebolla (*Allium cepa*), obtuvieron un mayor vigor en las plántulas del testigo. Así también los tratados con PEG-8000 a -5 atm durante 48 y 72 horas mostraron mayor calidad fisiológica que los demás tratamientos obteniendo un 50% de germinación.

Méndez *et al.*, (2010) en el caso específico de maíz (*Zea mays* L.) con polietilenglicol 400, las semillas no germinaron a -9 y -12 bares, los porcentajes de reducción a -3 y -6 bares fueron: porcentaje de germinación 19.4 y 91.17 %, respectivamente, altura de plántula 90.64 y 99, 57%, longitud radicular 78.51 y 98.16%, hojas/plántula 54.56 y 92.33%, peso de vástago 78.75 y 98.27% y peso de radícula 59.37 y 97.88%.

Otra investigación realizada por Madueño *et al.*, (2006) en la germinación y crecimiento de frijolillo (*Rhynchosia minima* L.) al trabajar con potenciales osmóticos de manitol, donde el bajo potencial osmótico afectó la velocidad de germinación, sin embargo se observó la capacidad para germinar en bajos potenciales osmóticos con más de 50% de semillas germinadas lo que podría indicar que esta especie tiene tolerancia a sequía en las primeras etapas de su crecimiento y en forma general el potencial osmótico más bajo inhibió el crecimiento del vástago a partir de -1.293 MPa y el de raíz a partir de -0.862 MPa.

Por su parte Águeda, (2008), trabajó con técnicas en la mejora de genotipos de cebada (*Hordeum vulgare* L.) tolerantes a sequía analizando la estabilidad de las membranas para esto utilizó PEG-6000 a concentraciones de 30, 40 y 50% aplicado a muestras de hojas durante 24 horas por lo que el efecto fue muy significativo en los distintos genotipos de 5.71, 14.89 y 22.79% respectivamente, se manifiesta que el daño ocasionado fue mayor al aumentar la concentración. También señala que las concentraciones de PEG del 40% son las más adecuadas para los materiales

estudiados y que obtiene la mejor separación entre genotipos con menor porcentaje de daño en membranas.

En relación al efecto de la sequia simulada con PEG-6000 sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de trigo (*Triticum aestivum* L.) de las variedades Cuba-C-204 e INIFAT RM-36, se determinó que se afectó la germinación y el crecimiento en un 50% de las plántulas de trigo y se observó que la variedad INFAT RM-36 resultó más tolerante en la germinación y crecimiento (Estrada *et al.*, 2007).

López *et al.*, (2008) realizaron un experimento en la evaluación de la resistencia a sequia con PEG 8000 en cultivos hidropónicos en las especies forestales *Pinus canariensis* y *Pinus pinaster*, los tratamientos fueron: control, -1 y -2 MPa. Observaron que las plantas estresadas destinaron mayor porcentaje de biomasa a las raíces que al sistema aéreo. Las plántulas de pino canario mostraron que a mayor nivel de estrés absorbieron su médula presentando tallos huecos en la cosecha final. Este comportamiento puede ser debido a la acumulación de reservas en el tallo necesarias para rebrotar y la planta moviliza todas sus reservas para sobrevivir.

De acuerdo con el estudio del efecto que ejerce la sequia simulada con PEG- 6000 en algunas variables de régimen hídrico y la concentración de pigmentos en las variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) INIFART RM-26 e INIFART RM-36, los resultados indican una ligera disminución significativa en el contenido total de agua de las plántulas y el contenido relativo de agua de las hojas por efecto del estrés,

pero sin diferencias substanciales entre variedades, tanto para la transpiración de las hojas y la concentración de pigmentos disminuyo significativamente en el grado de tolerancia de los materiales (González *et al.*, 2007).

Por otra parte Castro *et al.*, (2009) en el estudio morfo-fisiológico de brotes de maíz (*Zea mays* L.) se utilizaron semillas de cuatro líneas experimentales, sometidas en PEG -8000, los tratamientos fueron: 0, 10, 15 y 20%, encontraron que en la mayoría de las líneas la altura y el número de hojas fue menor en las concentraciones más elevadas.

En el caso de semillas de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*), coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) y col (*Brassica oleracea* var. *capitata*), en soluciones de PEG-6000 a 0, -5, -10, -15 y -20 atm, observaron que no se afecto significativamente la calidad fisiológica de la semilla, pero el tratamiento de agua bidestilada (0 atm) durante 24 h incremento el porcentaje de germinación en brócoli y coliflor en un periodo de 8 a 16 h y la col en el tiempo de 24 h aumento la germinación, el IVE y genero menor número de semillas muertas (Mora *et al.*, 2006).

Marín *et al.*, (2007) trabajaron en el acondicionamiento osmótico de semillas de tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* B.) utilizando PEG-8000, las concentraciones utilizadas fueron: -5, -10, -15 y -20 atm, donde obtuvieron un 84% de germinación, 3.7% de plántulas anormales y 10% de semillas muertas.

De acuerdo con Di Giambatista *et al.*, (2010) al experimentar las especies de pastos *Trichloris crinita* y *Digitaria eriantha* en condiciones de estrés, utilizando PEG-6000 el porcentaje de germinación disminuyó en los potenciales más altos, en *T. crinita* a -1 MPa se observó una disminución del 80% y a -1.5 MPa las semillas no germinaron.

En la investigación realizada por Maldonado *et al.*, (2002) en el efecto de diferentes concentraciones de manitol sobre semillas de tomatillo (*Lycopersicon chilense*) en el cual la germinación disminuyó progresivamente a potenciales hídricos menores de -0.5 Mpa, y dedujeron que las plantas de tomatillo producen semillas viables bajo condiciones de déficit hídrico, pero la capacidad de germinar se limita.

Silmara *et al.*, (2004) al tratar semillas de paineira (*Chorisia speciosa*) en PEG-6000 el porcentaje de germinación disminuyó con el incremento del potencial osmótico, mostrando tener menos tolerancia a sequía a -0.6 y -0.7 MPa al tener el 43.5 y 19% de germinación respectivamente.

González *et al.*, (2005) en la evaluación de la tolerancia a la sequía con PEG-6000 en dos variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) se encontraron afectaciones en el rendimiento que oscilaron entre 9-47%, las variedades INIFAT RM-26 e INIFART-36 manifestaron mejor comportamiento al presentar los porcentajes más altos en altura de la planta, longitud de la raíz, materia fresca y materia seca con 63.6, 48.1, 63.8 y 51.1% respectivamente, por lo que pueden ser consideradas para áreas de bajos suministros de agua.

Estudios realizados en laboratorio por Gutiérrez *et al.*, (2006) en diferentes genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum vulgaris*) los materiales manifestaron buen vigor, y en general alta calidad fisiológica ya que los valores de VE y PA fueron superiores al 90% utilizándose únicamente agua destilada.

En el efecto del potencial osmótico sobre la germinación y crecimiento de plántulas en dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.), los potenciales utilizados fueron: 0, -0.6 y -1.2 MPa, la germinación mostro una disminución respecto al testigo por el aumento del potencial, el mayor efecto fue a -1.2 MPa con una reducción del 6 y 11% (Layne *et al.*, 2008).

Núñez *et al.*, (1998) el déficit hídrico en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) disminuyo rápidamente el índice de área foliar (IAF), así como la conductancia estomática y la fotosíntesis. Olivares *et al.*, (1998) observaron que en el crecimiento inicial de plántulas de falaris (*Phalaris aquatica* L.) bajo condiciones de sequía las radículas mostraron una mayor longitud.

### **III.- MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **Ubicación del Sitio Experimental**

El presente trabajo de investigación se llevo acabo 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 Agriaría Antonio Narro, ubicado en Buenavista, Saltillo, Coahuila México, con una latitud norte de 25<sup>0</sup> 22' 00 y 101<sup>0</sup> 00' longitud oeste, a una altitud de 1742 msnm.

#### **Material Genético**

En esta investigación 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 Relación de las diez líneas de Trigo (*Triticum aestivum* L.) evaluadas en condiciones de Laboratorio.**

Identificación	Material Genético
1	AN-343-94
2	AN-344-94
3	AN-345-94
4	AN-348-94
5	AN-355-94
6	AN-357-94
7	AN-358-94
8	AN-360-94
9	AN-361-94
10	AN-363-94

### Tratamientos

Se empleo el polietilenglicol (PEG) para inducir el estrés hídrico, se utilizaron cuatro tratamientos con tres repeticiones, los tratamientos aplicados fueron: 1 bar, -1.5 bares, -3 bares y un testigo absoluto (Cuadro 3.2).

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

Tratamiento	Concentración (Bares)
T1	Testigo
T2	1
T3	-1.5
T4	-3

### **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 polietilenglicol (PEG 8000) para la elaboración de los tratamientos evaluados.**

<b>Concentración (Bares)</b>	<b>PEG -8000 (g/200 ml)</b>
1	20
-1.5	31
-3	62

### **Procedimiento**

En el estudio, se realizaron tres repeticiones para cada tratamiento, sembrando 25 semillas por repetición sobre papel filtro Whatman número 1, humedecido con la concentración de PEG-8000 correspondiente a cada tratamiento, colocadas en cajas Petri de vidrio de 15 cm de diámetro identificadas por línea, repetición y tratamiento; posteriormente se llevaron a la cámara germinadora marca Biotronette Mark III, modelo Lab-Line a una temperatura de 25 °C con ocho horas luz y dieciséis horas de oscuridad durante siete días. En total se realizaron cinco aplicaciones de 10 mL de cada tratamiento por cada repetición, excepto para el testigo que se aplicaron 5 mL de agua, a los siete días después de la siembra se determinaron las pruebas fisiológicas de capacidad de germinación y vigor. De estas pruebas, las plántulas

normales resultantes de cada tratamiento se determinó el contenido de hormonas de tipo auxinas como es el ácido indolacético únicamente de raíz.

## **Variables Evaluadas**

### **Capacidad de germinación**

La evaluación de la prueba se realizó a los 7 días después de la siembra, basándose en lo mencionado en la AOSA (1992) considerando en el conteo:

**Número de Plántulas Normales (PN)**, consideradas aquellas que midieron más de 2.5 cm y presentaron las estructuras esenciales para producir una planta normal bajo condiciones de agua, luz y temperatura, además de un sistema radicular y epicótilo bien desarrollado, al igual que una plúmula intacta es decir una hoja bien desarrollada.

**Número de Plántulas Anormales (PA)**, aquellas que midieron menos de 2.5 cm y mostraron una deficiencia en el desarrollo de sus estructuras esenciales, es decir que tanto el sistema radicular, como el epicótilo y plúmula no mostraron un desarrollo normal, lo que limitó la continuación de su crecimiento.

**Número de Semillas sin Germinar (SSG)**, fueron consideradas las que presentaron incapacidad para germinar.

## **Vigor**

### **Longitud Media de Plúmula**

Esta variable se determinó de las plántulas normales resultantes de la prueba de capacidad de germinación a los 7 días después de la siembra, midiendo la plúmula de cada plántula normal de cada repetición, tratamiento y línea, con ayuda de una regla graduada, promediando la longitud resultante de cada repetición y registrando los datos en centímetros.

### **Longitud Media de Radícula**

Esta variable se determinó nuevamente de las plántulas normales resultantes de la prueba de capacidad de germinación a los 7 días después de la siembra, midiendo la raíz de cada plántula normal de cada repetición, tratamiento y línea, con ayuda de una regla graduada, promediando la longitud resultante de cada repetición y registrando los datos en centímetros.

### **Quantificación de Auxinas (ácido indololacético)**

Para la determinación de Auxinas, de las plántulas normales resultantes se evaluaron las radículas, pesando aproximadamente 0.5 gramos de raíz de cada repetición por tratamiento con ayuda de una balanza analítica de 0.0001 g de precisión Marca Adventurer-Pro Ohaus, posteriormente se macero en un mortero de porcelana con 2 mL de agua, la mezcla se separó en papel filtro Whatman No. 1, recolectando la fase líquida en un tubo eppendorf de 2 mL; de esta fase se tomó 1

mL de muestra en un tubo de ensayo de vidrio de 13 X 100 y se agregó 2 mL de Reactivo de Salkowski dejando reposar 5 minutos a temperatura ambiente, una vez transcurrido el tiempo de reacción, se llevó la muestra a un espectrofotómetro Serie BioMate 3, a una longitud de onda de 530 nm , donde se calculó la concentración de la hormona en ppm.

## **Diseño Experimental**

### **Análisis Estadístico**

Los datos obtenidos se analizaron con el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS) con un Diseño Factorial Completamente al Azar con tres repeticiones. El factor A consistió en las 10 líneas y el factor B los tratamientos, con el siguiente modelo:

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

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 tratamiento

$E_{p}$ = Efecto de la interacción de la i-esima línea con la j-esima tratamiento

$E_{ijk}$ = Error experimental.

## Comparación de Medias

Para la comparación de medias de las diferentes variables registradas en el experimento, se utilizó la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS), mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

CMEE= Cuadro medio de error

r= Número 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

## IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Capacidad de Germinación

#### Plántulas Normales (PN)

En el análisis de varianza (ANVA) se observó que en el porcentaje de plántulas normales existe una diferencia altamente significativa entre las líneas estudiadas, entre los tratamientos, así como en la interacción líneas por tratamientos; resultando un Coeficiente de Variación de 26.74 % (Cuadro 4.1), lo cual indicó que al menos una de las líneas y algún tratamiento tuvieron una respuesta diferente en la capacidad de germinación dada por diferente porcentaje de las plántulas normales.

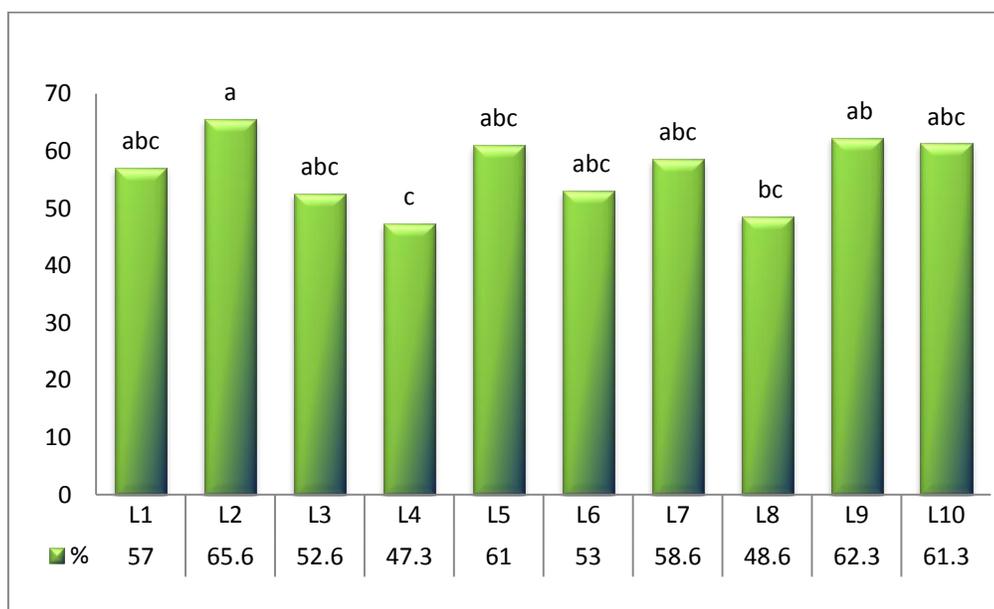
**Cuadro 4.1 Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza para las variables de Capacidad de Germinación en Condiciones de Laboratorio.**

Fuente de Variación	Grados de libertad	Plántulas Normales	Plántulas Anormales	Semillas sin Germinar
Líneas	9	5.76**	4.9**	2.185**
Tratamientos	3	420.22**	365.37**	15.057**
Línea por Tratamiento	27	7.63**	6.82**	1.48 NS
Error	80	3.01	2.64	1.15
% C.V.		26.74	24.36	46.87

\*\* - Altamente significativo al 1% de probabilidad

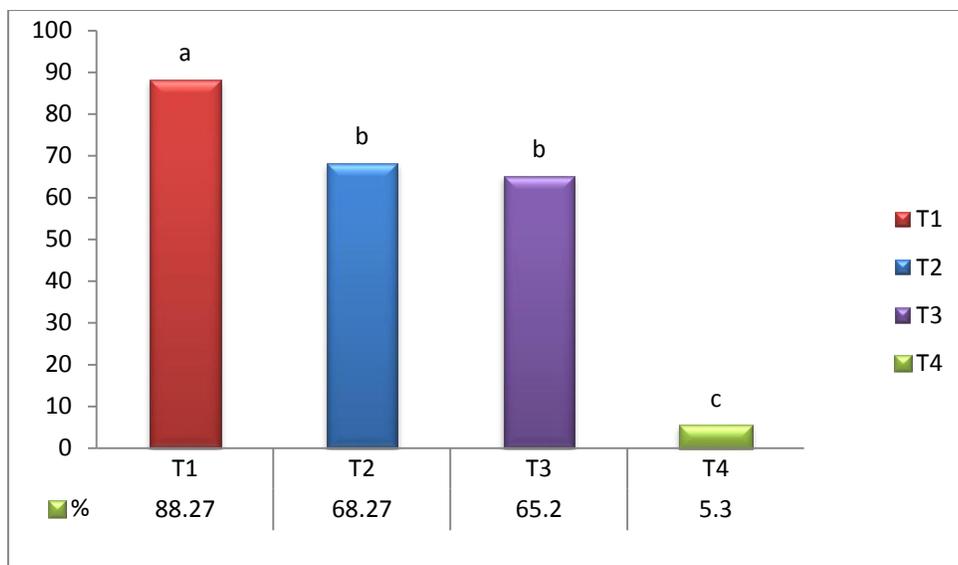
NS - No significativo

Con respecto a la prueba de comparación de medias entre líneas como se muestra en la figura 4.1 se encontraron tres grupos estadísticos diferentes, el primer grupo esta integrado por ocho líneas, sin embargo AN-344 (L2) fue la mas sobresaliente con el 65.6%, considerada la de mejor respuesta al presentar una buena capacidad de germinación, seguido de los materiales AN-361 (L9), AN-363 (L10) y AN-355 (L5) con 62.3, 61.3 y 61% respectivamente, mientras que AN-345 obtuvo el valor mas bajo de 52.6%, compartiendo este mismo grupo. En el siguiente grupo solamente se encontró la línea AN-360 con 48.6%. En el ultimo grupo estadístico AN-348 (L4) obtuvo el porcentaje menor para esta variable del 47.3% comparado con el resto de los materiales.



**Figura 4.1** Comparación de medias para las líneas estudiadas de trigo (*Triticum aestivum* L.) sometidas en diferentes potenciales osmóticos en la variable de Plántulas Normales (PN) en condiciones de Laboratorio.

En la figura 4.2 se muestra la prueba de comparación de medias de los tratamientos, primeramente esta el testigo (T1) que presentó el mayor porcentaje con el 88.27%, seguido de T2 y T3 que obtuvieron el 68.7 y 65.20% respectivamente, con un 20 y 23% menos que el testigo. Por ultimo se tiene a -3 bar (T4) expresó el resultado mas bajo de un 5.3%, comparándolo con el T1 (testigo) con un 82.9 % menos. Lógicamente los resultados obtenidos de PN registradas en el testigo eran los esperados ya que las condiciones establecidas para este tratamiento fueron las normales, de la misma forma se esperaba que los menores porcentajes de PN se encontrarían en el T4 por ser la concentración mas alta a la que las semillas estuvieron sometidas, por tanto a mayor presión dada menor porcentaje de plántulas normales, tal como ha sido señalado en algunos trabajos donde se evaluó el crecimiento y desarrollo de plántulas: Estrada *et al.*, (2007) en la sequía simulada con PEG-6000 sobre variedades de trigo, determinaron que se afectó en un 50% la germinación y el crecimiento de plántulas, coincidiendo en el comportamiento del testigo al obtener los valores mas altos de PN y también indican que la mayor afectación se presento a -1.5 MPa. Por otro lado Marín *et al.*, (2007) al utilizar PEG-8000 en semillas de tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* B.) lograron el porcentaje mas elevado de PN del 84%.

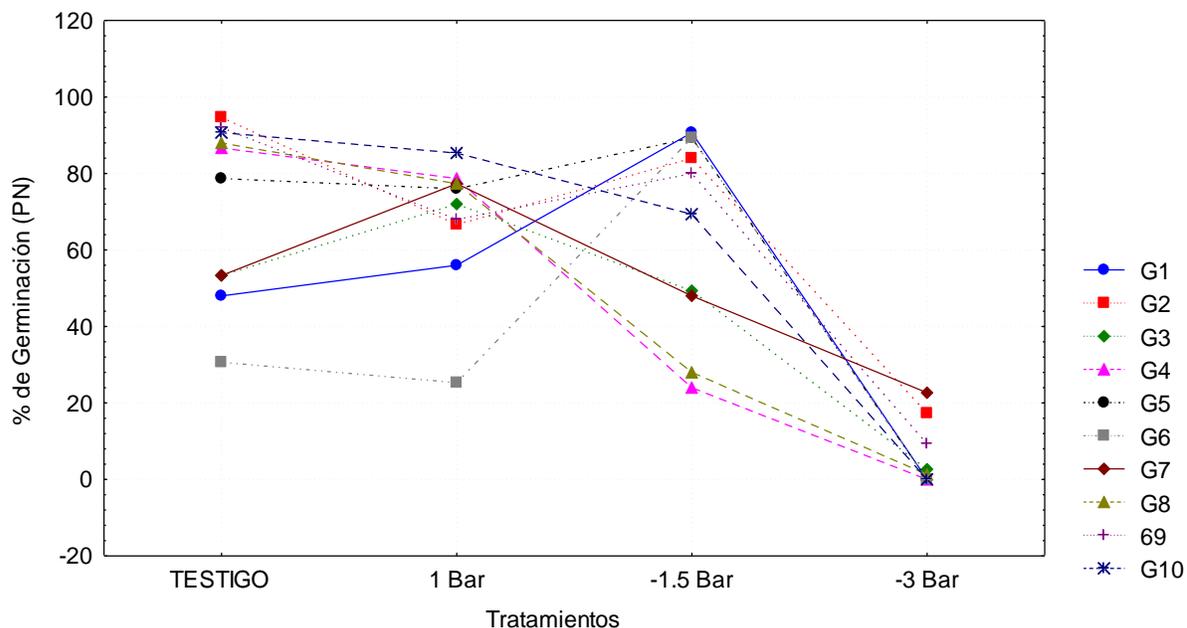


**Figura 4.2 Comparación de medias para los tratamientos estudiados en la variable de Plántulas Normales (PN) en condiciones de Laboratorio.**

En lo correspondiente a la interacción de líneas por tratamiento se tiene que cada tratamiento tuvo un comportamiento diferente en cada una de las líneas estudiadas.

Para la interacción de las líneas por tratamiento, el testigo nuevamente (T1) presentó los valores mas altos, logrando una respuesta favorable en la germinación, la mejor línea fue AN-344 (G2) con el 95%, seguido por AN-361(G9) expresando el 93%, AN-363 (G10) con un 92%, también con el mayor número de plántulas normales se encontró AN-348 (G4) y AN-360 (G8) con el 87 y 89%, mientras tanto con menos capacidad de germinación AN-357 (G6) con tan solo el 30% (Figura 4.3), Barceló (2003) indica que cuando una semilla seca viable se encuentra en condiciones adecuadas de agua y temperatura, se ponen en marcha una serie de acontecimientos y con la toma de agua la actividad metabólica se reanuda, siendo la respiración, la síntesis de ARN y proteínas procesos celulares fundamentales para el

éxito de la germinación y que preparan a la semilla para el crecimiento posterior y su transformación en una plántula autónoma.



**Figura 4.3** Respuesta de la capacidad de germinación para Plántulas Normales (PN) en la interacción de diez líneas elite de trigo (*Triticum aestivum* L.) en diferentes potenciales osmóticos.

Para el tratamiento a 1 bar (T2), la línea que mas sobresalió fue AN-363 (G10) con un 86%, siendo superior a los demás materiales, sin embargo comparado con el testigo (T1) obtuvo solo 2% menos, seguido por las líneas, AN-348 (G4) con un 80%, AN-358 (G7) y AN-360 (G8) con el 79% y AN-355 (G5) con 77%, mostrando también un descenso los materiales G5, G4, G8 y G5 del 3, 8,10% en relación al T1, mientras que el G1 y G7 superaron al testigo con un 10 y 27%, nuevamente la mas afectada con el menor porcentaje de PN fue AN-357 (G6) al obtener el 27% (Figura 4.3). Con estos resultados se puede notar que la presión osmótica tiene un efecto sobre las líneas al disminuir el porcentaje de germinación, lo cual nos indica que a esta presión

las líneas estudiadas respondieron bien al no tener porcentajes tan bajos, cabe decir que en este tratamiento siete de las líneas estudiadas están dentro de un mismo rango del 56 a 76%; Heydari y Heydarizadeh (2002) al evaluar diferentes variedades de trigo en condiciones de estrés hídrico, establecieron que a -1.22 MPa se alcanzó un 75% de germinación.

El tratamiento T3 (semillas sometidas a -1.5 bar) se consideró como la de mejor respuesta AN-343 (G1) teniendo el valor del 90%, seguido por las líneas AN-355 (G5) y AN-357 (G6) que obtuvieron el 88.5%, y el 86 y 80% dado por AN-344 (G2) y AN-361 (G9), en relación a G2 expresa un 9.5% menos que el testigo, y la mas afectada para este tratamiento fue AN-348 (G4) con un 26% (Figura 4.3). Es bastante notorio que los materiales G5, G1 y G6 muestran un resistencia a sequía al superar al testigo con el 8.5, 42 y 58.5% respectivamente, así también estos mismos materiales al igual que G2 y G9 obtuvieron valores mas altos que el tratamiento anterior donde se utilizo una concentración menor (Figura 4.3). En lo reportado por Madueño *et al.*, (2006), semillas de frijolillo (*Rhynchosia minima* L.) presentaron un buen comportamiento de germinación y desarrollo de plántulas en altos potenciales osmóticos en las primeras etapas de su crecimiento.

En relación a -3 bars (T4) hubo una considerable disminución en la germinación, cambiando por completo la tendencia de los tratamientos anteriores en el cual AN-358 (G7) expresa el mayor porcentaje del 24% que podría indicar que probablemente sea tolerante a estrés hídrico, seguido de AN-344 (G2) y AN-361 (G9) con el 18 y 10%, mostrando las líneas experimentales una disminución del 28, 76 y 83% en relación al testigo, por tanto las siete genotipos restantes mostraron valores muy

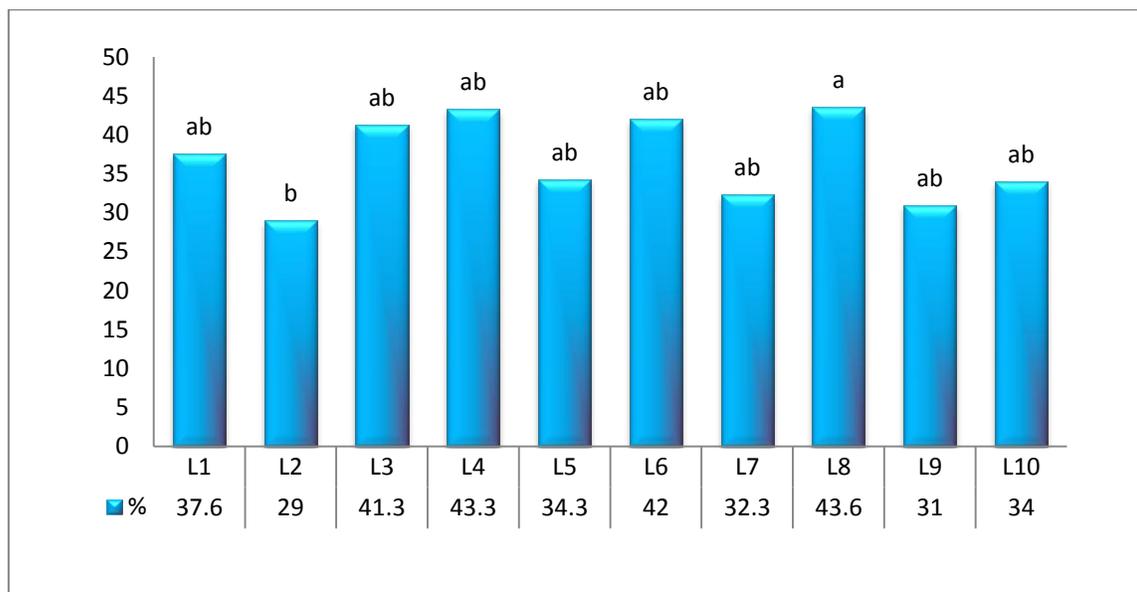
inferiores a tal grado de no registrar ningún porcentaje de PN, como se puede ver en la figura 4.3; naturalmente estos resultados eran esperados ya que a mayor presión osmótica, se tenía previsto menor capacidad de germinación y menor registro de PN, por esta razón la resistencia a esta concentración fue menor a la presentada en la concentración anterior, es importante señalar que las respuestas obtenidas de la interacción de líneas por tratamiento son una base importante que refleja los materiales mas superiores con características de tolerar la sequía, siendo una alternativa para lugares con escasos de agua. Tal respuesta coincide con lo observado por Haq *et al.*, (2010); Gholami *et al.*, (2010); Castro *et al.*, (2009); Méndez *et al.*, (2010) en otros cultivos los cuales señalaron que conforme se incrementa la presión osmótica mediante la concentración el porcentaje de germinación disminuye así como los parámetros de crecimiento y desarrollo de las plántulas, esto debido a que los potenciales hídricos bastante negativos impiden la absorción del agua provocando afectaciones en las secuencias de los eventos involucrados en el proceso de la germinación.

### **Plántulas Anormales (PA)**

Para las plántulas anormales el análisis de varianza (ANVA) tiene una diferencia altamente significativa en líneas, tratamientos por líneas así como en la interacción de líneas por tratamiento, con un coeficiente de variación de 24.36% (Cuadro 4.1).

En la comparación de medias en líneas (Figura 4.4), se tienen dos grupos estadísticos diferentes. Formando el primer grupo se encontraron nueve de los

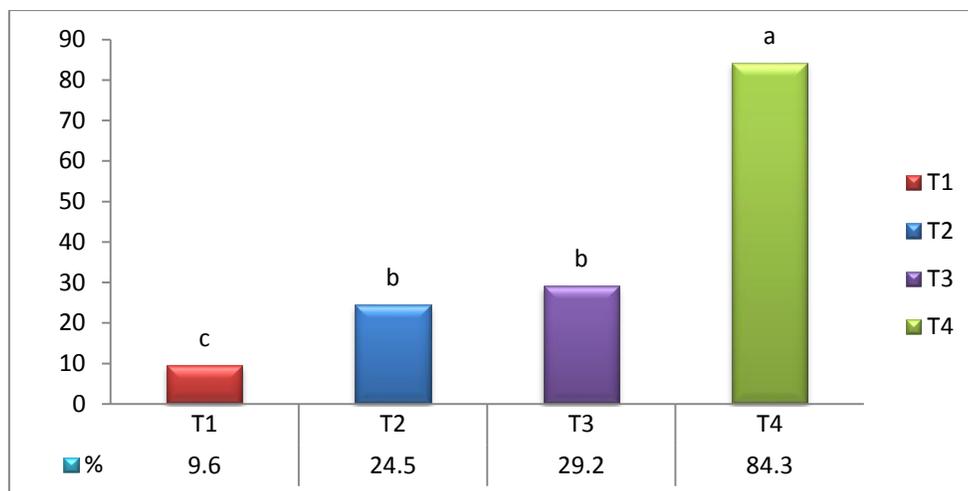
materiales estudiados que estadísticamente son iguales, donde AN-360 (L8) expresó el valor mas alto con el 43.6% de PA considerada la mas afectada al presentar malformaciones en sus estructuras, por tanto es susceptible a estrés por sequía y el menor valor fue dado por AN-AN-361 con 31%. El segundo grupo lo integro el número mas bajo de PA obtenido por AN-344 (L2) con el 29%, presentando menor efecto negativo en comparación con las demás líneas estudiadas.



**Figura 4.4 Comparación de medias de las líneas estudiadas de trigo (*Triticum aestivum* L.) sometidas a diferentes potenciales osmóticos para la variable Plántulas Anormales (PA), en condiciones de Laboratorio.**

Para la prueba de comparación de medias de los tratamientos (Figura 4.5), el tratamiento -3 bar mostro el mayor porcentaje del 84.3% de PA, fue superior al testigo con el 74.7%, seguido por 1 y -1.5 bar con el 24.5 y 29.2% respectivamente, integrando el segundo grupo estadístico y obtuvieron el 14.9 y 19.6% mas que el testigo. En el tercer grupo estadístico se encuentra el testigo con la cifra mas baja de

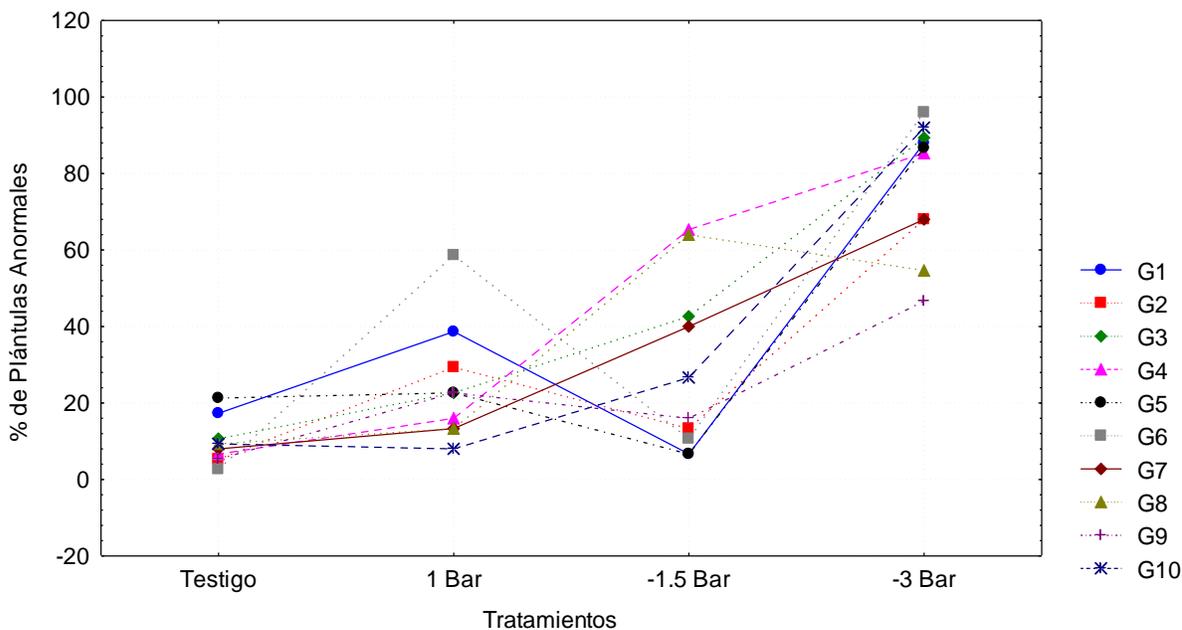
9.6%, sin duda estos resultados de plántulas anormales en el T1 eran los estimados porque fue el que no se sometió a estrés por sequía. Por tanto la respuesta diferente en cada uno de los tratamientos demuestra que a mayor concentración existe un alto porcentaje de plántulas anormales, provocando que no tengan un crecimiento normal en cada una de sus estructuras, teniendo un alto grado de anomalía. Para ello Turk *et al.*, (2004) al trabajar con semillas de lenteja (*Lens esculenta*) encontraron que el porcentaje de germinación disminuyó con las concentraciones mas altas de polietilenglicol, al tener un efecto mayor a -1.72 MPa con una reducción del 51.8%, de esta forma presentando el número mas alto de plántulas anormales.



**Figura 4.5 Comparación de medias en los tratamientos estudiados en la variable de Plántulas Anormales (PA) en condiciones de Laboratorio.**

Se muestra en la figura 4.6 la interacción de líneas por tratamiento, determinándose que el testigo (T1) es a quien le corresponde el menor número de plántulas anormales, en tanto la concentración de -3 bar (T3) tiene los porcentajes mas altos en casi todas las líneas estudiadas, este comportamiento era el esperado ya que se

contempla que a mayor presión existe mas dificultad para que las plántulas tengan un optimo crecimiento y desarrollo. Esta disminución en la germinación pudiera ser atribuida a que las altas concentraciones de PEG-8000 impiden la absorción de agua por las semillas, debido a que el alto potencial osmótico que se crea en la solución y a que reduce la disponibilidad de oxígeno, también el efecto del polietilenglicol se refleja por el déficit hídrico que se produce en los tejidos foliares en crecimiento, al disminuir la turgencia de las células y por cambios en la permeabilidad de las membranas (Heidary y Heidary, 2002; Silmara y Juliano, 2004).



**Figura 4.6** Respuesta de la capacidad de germinación en Plántulas Anormales (PA) en la interacción de diez líneas elite de trigo (*Triticum aestivum* L.) en diferentes potenciales osmóticos.

En el testigo (solo con agua) se observó que los porcentajes son inferiores al 22% dado por AN-355 (G5) y el menor valor fue obtenido por AN-357 (G6) con el 4% (Figura 4.6). Esto es similar en lo reportado por Laínez *et al.*, (2008) al someter semillas de maíz (*Zea mays* L.) a diferentes potenciales osmóticos de PEG-8000, donde también el testigo fue quien presentó el menor porcentaje de plántulas anormales.

Con respecto al tratamiento a 1 bar (T2) el genotipo más sobresaliente fue AN-357 (G6) teniendo el 60%, pero en comparación con el T1 mostró el 56% más de daño, seguido por G1 y G2 con el 40 y 32%, estos genotipos presentan un mayor número de PA que el testigo del 21 y 32%, el porcentaje más bajo lo presentó AN-363 (G10), por lo tanto el porcentaje de plántulas anormales se incrementó en relación con el tratamiento anterior (Figura 4.6).

En el tratamiento -1.5 bar (T3) la tendencia del aumento de los porcentajes es aun mucho mayor, registrado el más alto en el material AN-348 (G4) con el 68%, seguido por AN-360 (G8) que obtuvo el 66%, respecto al testigo sobresalieron con el 58 y 54%, mientras tanto los valores más bajos fueron dados por AN-343 (G1) y AN-355 (G5) con el 8% para ambos, incluso estos dos genotipos mostraron valores más bajos que el propio testigo (T1) del 12 y 15%, y AN-357 (G6) con el 12%, se observó que los genotipos 1, 5 y 6 obtuvieron menor número de PA que en tratamiento anterior donde se utilizó un potencial más bajo (Figura 4.6).

El tratamiento a -3 bares (T4) presentó los porcentajes más elevados, con valores que van desde un 48% hasta un 98%, el más bajo dado por AN-361(G9) y el más

alto obtenido por AN-357 (G6) respectivamente, seguido de AN-363 (G10) con el 94%, AN-345 (G3) con 90% y AN-343 (G1) con el 88%, es importante destacar que los materiales G6, G10, G3, G1 y G4 mostraron un severo daño ya que comparados con el testigo tienen el 94, 82, 78, 69 y 74% mas de plántulas anormales, sufriendo daños por el estrés como algunas malformaciones en sus estructuras por el cual se consideraron PA, por mencionar algunas son: la falta de crecimiento en la radícula o plúmula, en el caso específico de plúmula el crecimiento fue en forma enrollada con un alto grado de anormalidad, estas malformación pueden ser ocasionados porque sean susceptibles a estrés por sequía. Claramente se observa que el comportamiento es completamente diferente a las plántulas normales, superando totalmente al testigo (Figura 4.6). Los resultados concuerdan con Digidem y Mehmet (2008) al evaluar semillas de triticale en sequía simulada con PEG, donde provocó un efecto negativo sobre la germinación y el crecimiento de plántulas, siendo aún más la disminución en la concentración utilizada de -1.44 MPa.

### **Semillas sin Germinar (SSG)**

En la variable de semillas sin germinar en el ANVA se reportó alta significancia en líneas y tratamientos, pero no en la interacción de líneas por tratamiento al no mostrar significancia, con el Coeficiente de Variación de 46.87% (Cuadro 4.1).

Las semillas sin germinar en la prueba de comparación de medias en líneas (Figura 4.7) se observaron tres grupos estadísticos. Dentro del primer grupo se encontraron ocho de las líneas estudiadas con un comportamiento similar entre ellas mostrando valores que están dentro de un mismo rango del 9.3 al 5.3%, sin embargo AN-345

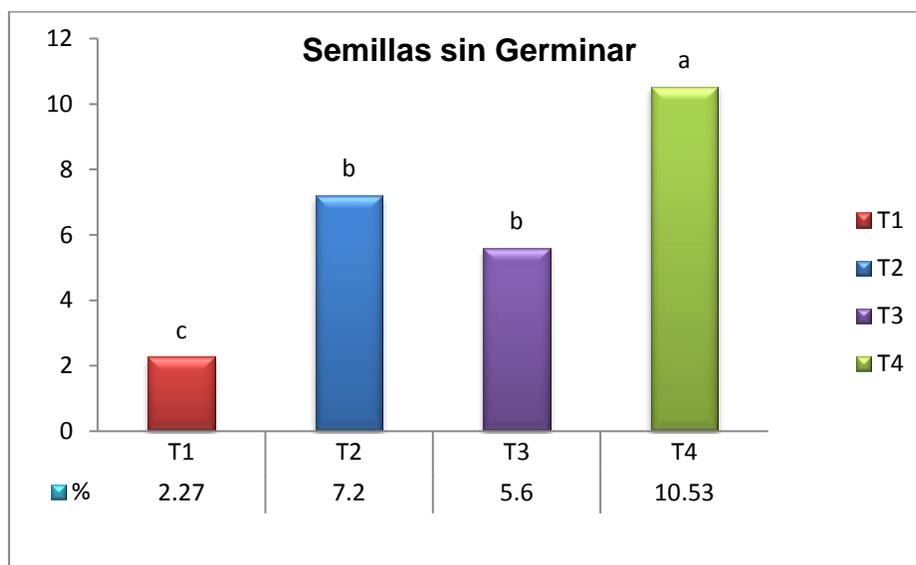
(L4) registro el número mas alto para esta variable, por otro lado en el segundo grupo se reportaron lo porcentajes mas bajos dado por AN-363 (L10) y AN-355 (L5) con el 4.6 y 4.7% de SSG, indicando que en general los tratamientos tuvieron poco efecto negativo sobre estas dos ultimas líneas, que en comparación con L4 quien se consideró la mas afectada por los tratamientos, claro esta que las líneas estudiadas tienen una alta capacidad de germinación al tener resultados inferiores al 10%.



**Figura 4.7** Comparación de medias para las líneas estudiadas de trigo (*Triticum aestivum* L.) sometidas en diferentes potenciales osmóticos en la variable de Semillas sin Germinar (SSG), en condiciones de Laboratorio.

En el comportamiento de la comparación de medias de los tratamientos estudiados, el tratamiento -3 bar (T4) obtuvo el mayor porcentaje del 10.53% donde se usó la concentración mas alta, posteriormente se encontraron los tratamientos 1 bar y -1.5 bar con el 5.6 y 7.2%, y finalmente el testigo con el porcentaje mas bajo del 2.27% para esta variable (Figura 4.8). En base a los resultados obtenidos por el testigo, cabe señalar que ya se esperaban porque estuvo bajo condiciones normales. Lo

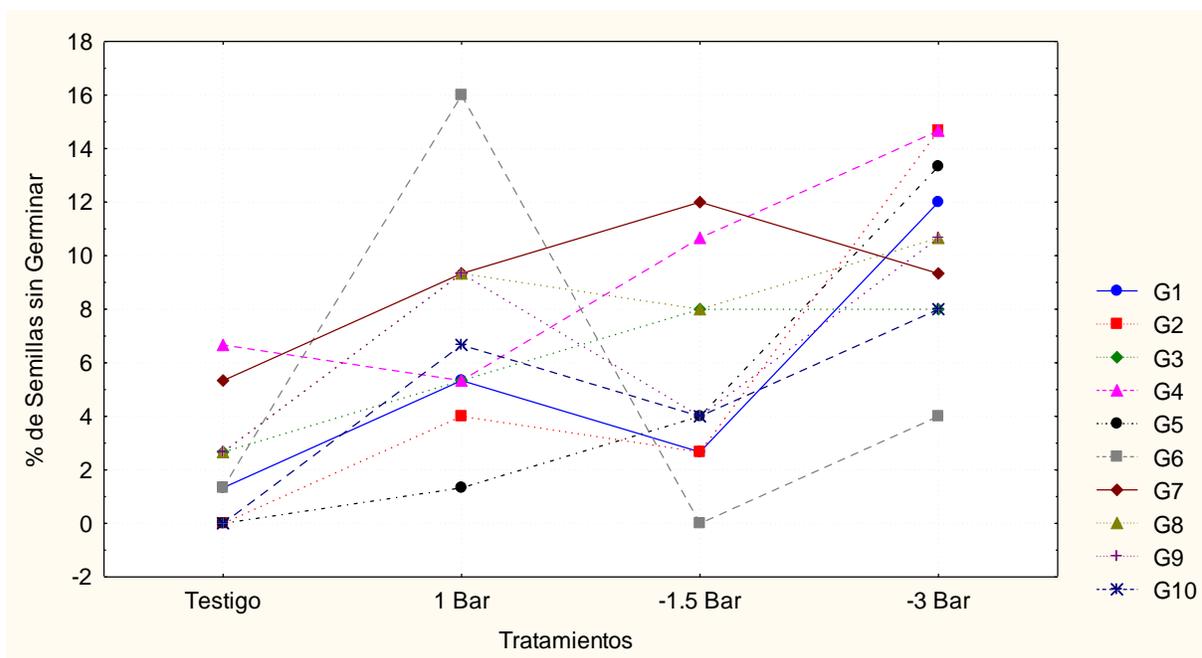
anterior coincide con Vargas (2010) al tratar semillas de diferentes variedades de trigo a concentraciones de 0, 1.5, -3, -5 y -10.89 de PEG 8000, en su caso también el testigo resultó con el menor porcentaje del 3.4% de SSG. Se aprecia que los materiales estudiados tienden a tener una buena capacidad de germinación al tenerse los niveles mas bajos de semillas sin germinar, por tanto pueden ser capaces de tener tolerancia en condiciones de escasez de agua.



**Figura 4.8 Comparación de medias en los tratamientos estudiados en la variable de Semillas sin Germinar (SSG) en condiciones de Laboratorio.**

En relación a la interacción de líneas por tratamiento, el testigo (T1) mostró un comportamiento diferente en semillas sin germinar al obtener los valores mas bajos, donde el genotipo AN-348 (G4) fue el mas afectado con el 7%, posiblemente este comportamiento se debe a que le faltaron horas frio por ser un cereal de invierno por esta razón podría tener baja germinación y presentar el número mas alto de SSG,

mientras que los genotipos AN-344 (G2), AN-355 (G5) y AN-363 (G10) registraron el 0% (Figura 4.9).



**Figura 4.9** Respuesta del capacidad de germinación en Semillas sin Germinar (SSG) en la interacción de diez líneas elite de trigo (*Triticum aestivum* L.) en diferentes potenciales osmóticos.

Las semillas sometidas a 1 bar (T2) donde AN-357 (G6) obtuvo el porcentaje más elevado del 16%, sobresaliendo del resto de los materiales al obtener el mayor número de SSG para esta variable y AN-355 (G5) expresó el menor porcentaje del 1%, los ocho materiales restantes se ubicaron dentro de estos mismos valores (Figura 4.9). Por su parte Marín *et al.*, (2007) al evaluar semillas de cebolla (*Allium cepa*) en PEG-8000 encontraron que en la menor concentración utilizada de -5 atm el porcentaje de SSG fue de 6.25%.

Para el tratamiento 3 (-1.5 bar) el material mas afectado para esta variable fue AN-358 (G7) con el 12% y el menor efecto lo mostró AN-357 (G6) con un valor del 0%, por tanto el resto de los genotipos se localizaron dentro de estos porcentajes. Se observa que los niveles de semillas sin germinar se mantuvieron bajos lo que significa que los materiales estudiados demuestran buena capacidad de germinación (Figura 4.9). Radhouane (2007) al utilizar -2 MPa observo la disminución de la germinación en un 73% en semillas de mijo (*Pennisetum glaucum* L.) presentando el mayor porcentaje de semillas sin germinar.

Dentro del T4 (-3 bar) AN-244 (G1) y AN-348 (G4) mostraron el porcentaje mas elevado del 15% y el mas bajo nuevamente dado por AN-357 (G6) con el 4.6%, como se muestra en la figura 4.9. Parecido a lo reportado por Méndez *et al.*, (2010) quienes no obtuvieron germinación a -9 y -12 bares en híbridos de maíz (*Zea mays* L.) afectados negativamente por el polietilenglicol.

## **Vigor**

### **Longitud Media de Radícula (LMR)**

En el ANVA resultante para la variable de longitud media de radícula no se mostro diferencia significativa entre líneas ni en la interacción de líneas por tratamiento y si una diferencia altamente significativa en tratamientos, con un coeficiente de variación de 10.3% (Cuadro 4.2).

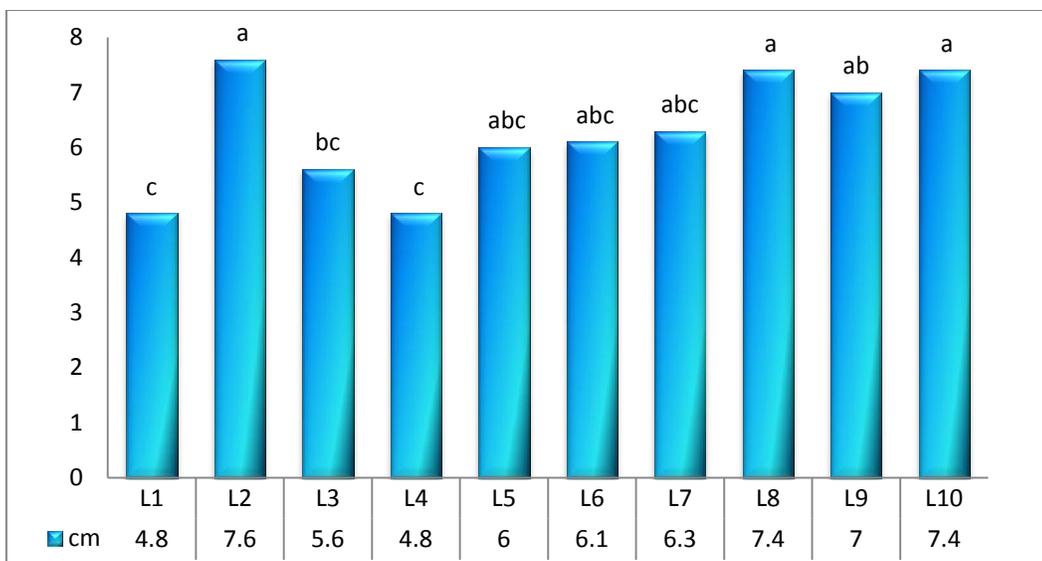
**Cuadro 4.2 Cuadros medios y significancia del análisis de varianza para las variables de Vigor en Condiciones de Laboratorio.**

Fuente de Variación	Grados de libertad	Longitud media de Raíz (LMR)	Longitud media de Plúmula (LMP)
Líneas	9	0.6 NS	0.62 NS
Tratamientos	3	29.26**	20.1**
Línea por Tratamiento	27	0.72 NS	0.54 NS
Error	80	0.219	0.218
% C.V.		19.5	20.16

\*\* - Alta significancia al 1% de probabilidad

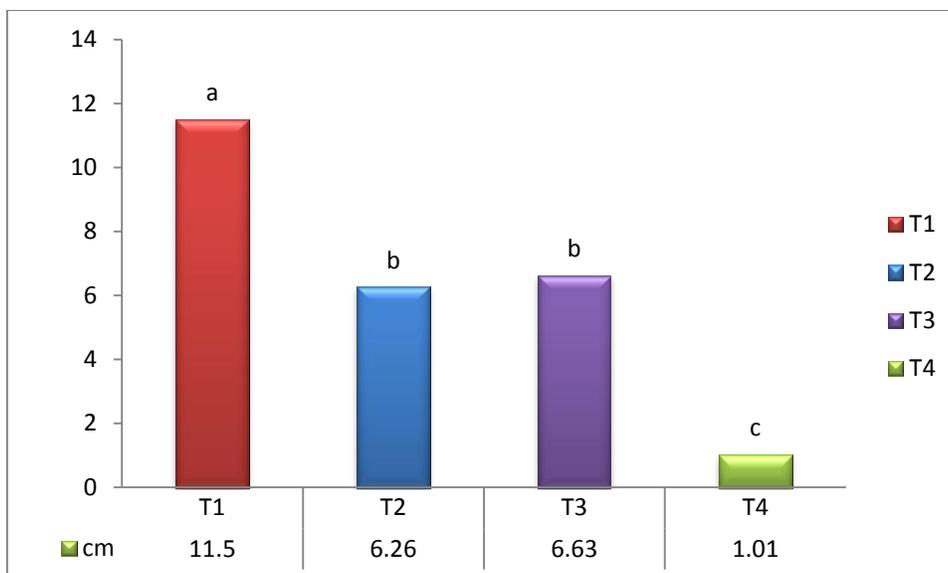
NS- No significativo

En lo referente a la prueba de comparación de medias para líneas en esta variable como se describe en el Figura 4.10, se encontraron tres grupos estadísticos donde AN-344 (L2) presentó la longitud mayor de radícula con 7.6 cm, por tanto fue la mas vigorosa en comparación con las demás líneas, seguido de AN-360 (L8) y AN-363 (10) con el 7.4 cm para ambos y AN-361 (L9) de 7 cm, mientras que AN-355 (L5) obtuvo la menor longitud de 6 cm, formando el primer grupo estadístico. Para el siguiente grupo únicamente se tiene al material AN-345 (L3) que obtuvo una longitud de 5.6 cm. En el tercer y ultimo grupo están las radículas de menor tamaño para esta variable, expresadas por las líneas AN-343 (L1) y AN-348 (L4) con 4.8 cm.



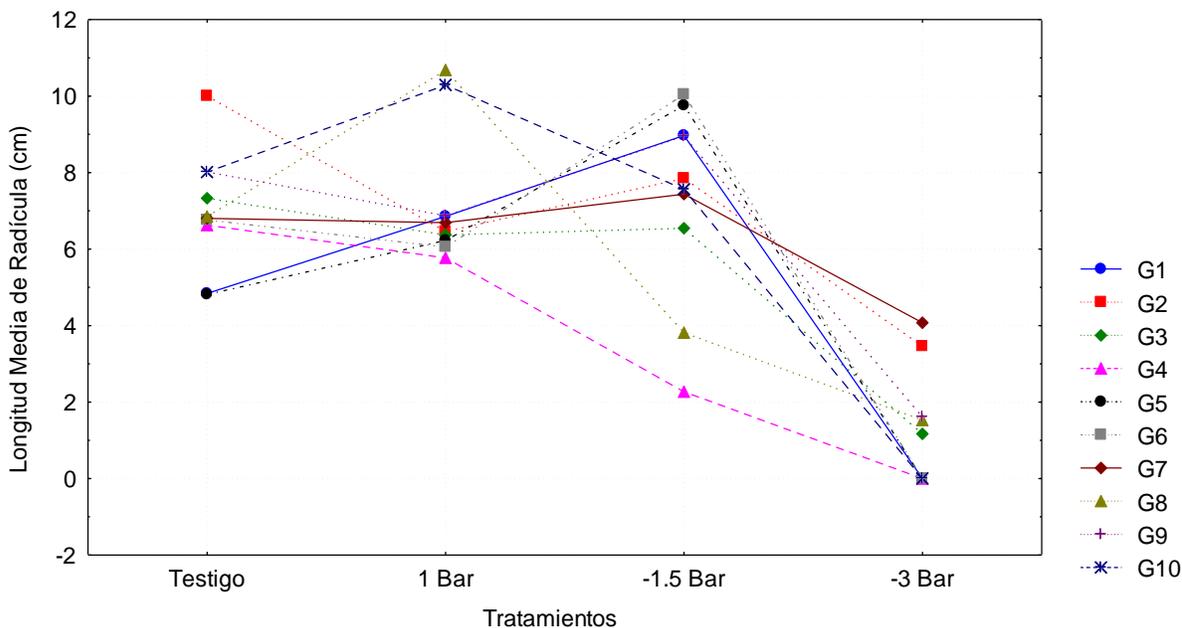
**Figura 4.10** Comparación de medias para las líneas estudiadas de trigo (*Triticum aestivum* L.) sometidas a diferentes potenciales osmóticos en la variable Longitud Media de Radícula (LMR) en condiciones de Laboratorio.

Con respecto a la prueba de comparación de medias de los tratamientos (Figura 4.11) donde el valor mas sobresaliente nuevamente fue obtenido por el testigo (T1) con 11.5 cm, marcado como el tratamiento con las radículas de mayor longitud y vigorosas, posteriormente se encontró 1 y -1.5 bares con 6.2 y 6.6 cm respectivamente, López *et al.*, (2008) se percataron que plántulas forestales destinaron mayor biomasa a la raíz en las concentraciones utilizadas de -1 y -2 MPa. El menor tamaño de radícula de 1 cm se registro en el tratamiento a -3 bares, contemplada como la mas afectada. Por su parte Mohammadkhani y Heidari (2008) en cultivares de maíz (*Zea mays* L.) observaron que a mayor concentración del tratamiento la longitud de la radícula fue menor.



**Figura 4.11 Comparación de medias en los tratamientos estudiados en la variable de Longitud Media de Radícula (LMR) en condiciones de Laboratorio.**

En la figura 4.12 se muestra la interacción de líneas por tratamiento para longitud media de radícula, se encontró que todas las líneas estudiadas respondieron de manera diferente en cada uno de los tratamientos, donde en el testigo (T1) AN-344 (G2) obtuvo la mayor longitud de 10 cm y la radícula mas pequeña dada por AN-343 (G1) y AN-355 (G5) de 5 cm, todas los demás materiales estuvieron en un mismo rango de entre 6.5 y 8 cm, los resultados obtenidos por el testigo eran los previstos porque en este tratamiento las semillas no estuvieron bajo ningún estrés.



**Figura 4.12** Respuesta de la Longitud Media de Radícula (LMR) en la interacción de diez líneas elite de trigo (*Triticum aestivum* L.) en diferentes potenciales osmóticos.

Para el tratamiento 2 (1 bar) la radícula mas grande fue expresada por AN-360 (G8) con 11 cm, seguido por AN-363 (G10) con 10.6 cm y el genotipo AN-348 (G4) mostró la menor longitud con 5.8 cm, las demás líneas expresaron valores similares entre 6 y 7 cm, como se puede observar en la misma figura 4.12; en este tratamiento se obtuvieron las longitudes mas grandes de radícula comparadas con los otros tratamientos utilizados, que como ya se mencionó anteriormente se registraron en G8 y G10 superando al testigo con 4 y 2.6 cm, por lo tanto son consideradas con cierta tolerancia a sequía.

En el tratamiento -1,5 bares (T3) la línea de mejor respuesta en longitud fue dada por AN-357 (G6) de 10.4 cm, seguido por AN-355 (G5) con 9.8 cm, en cambio

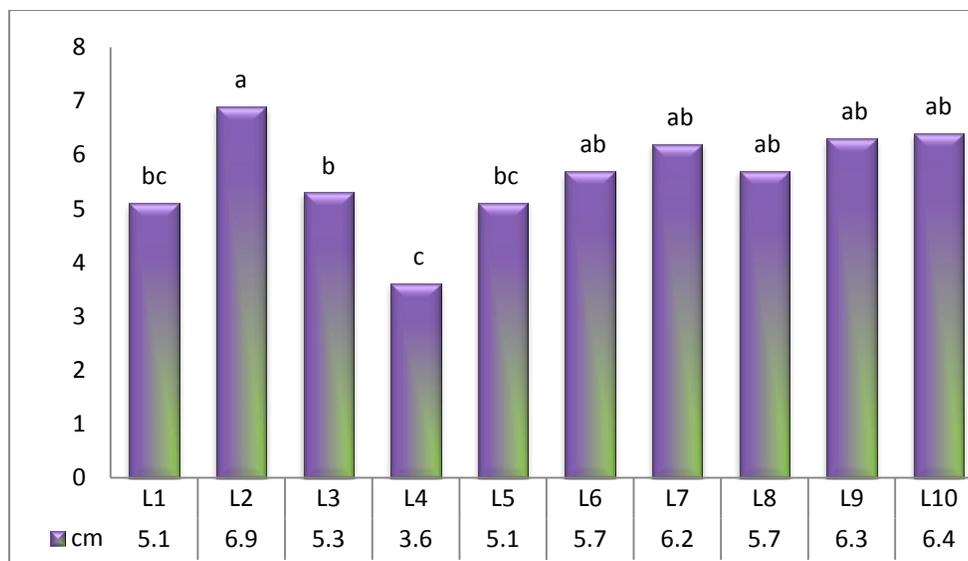
nuevamente AN-348 (G4) fue la de menor longitud con 2.4 cm. El G6 comparado con el T1 lo superó por 3.6 cm y G5 con 4.8 cm, es importante mencionar que cinco de los genotipos restantes desarrollaron radículas mas grandes que el tratamiento anterior en donde se utilizó una concentración menor y también de estos cinco materiales solamente G1 y G9 presentaron radículas de mayor tamaño que el testigo (Figura 4.12). Esto es similar en lo encontrado por Aguilar (2011) quien reportó que a esta misma concentración obtuvo las radículas de mayor longitud en semillas de trigo (*Triticum aestivum* L.) al tratarlas con PEG-8000. Hamayun *et al.*, (2010) mencionan que la razón por la que se puede considerar la elongación de la raíz es por que el contenido de ABA se incrementa en condiciones de sequía.

En el caso específico del tratamiento a -3 bares (T4) AN-358 (G7) resultó tener una longitud de 4.2 cm obteniendo la radícula mas grande en comparación con los demás materiales estudiados, mientras que los genotipos 1, 4, 5, 6 y 10 manifestaron ser los mas afectadas al no tener desarrollo de radícula, siendo una limitante para su crecimiento, todos estos resultados fueron demasiado bajos respecto al testigo (Figura 4.12). Bahrami *et al.*, (2012) al utilizar la concentración mas alta de PEG a -6 bares en cultivares de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) encontraron el menor tamaño de radícula. Kabiri *et al.*, (2012) recientemente evaluaron semillas de comino negro (*Nigella sativa*) en tratamientos de PEG donde observaron un efecto negativo a -0.3 MPa al obtener la longitud de radículas mas pequeñas con un promedio de 2.9 cm, mucho menor que el testigo.

### **Longitud Media de Plúmula (LMP)**

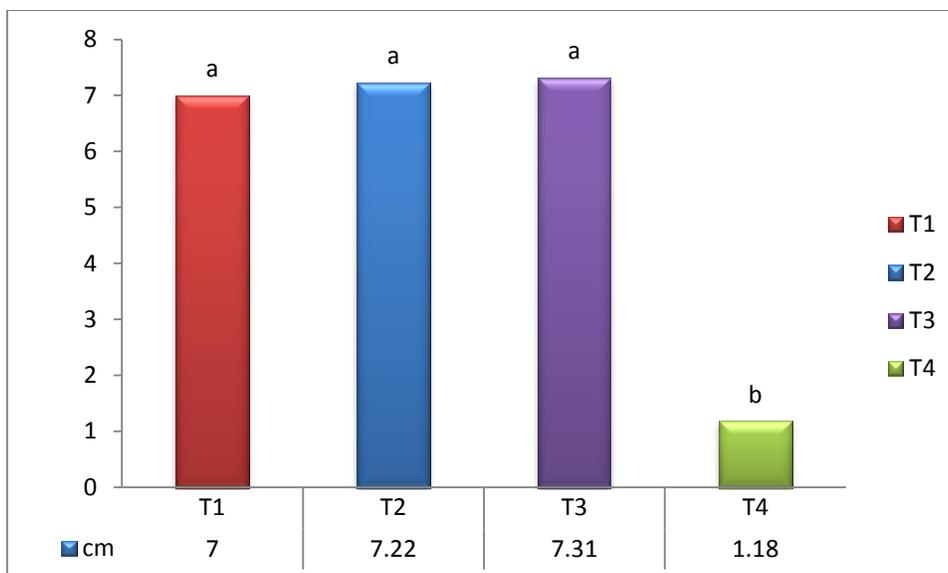
En el análisis de varianza (ANVA) se observó que para longitud media de plúmula no existe diferencia significativa en líneas ni en la interacción de líneas por tratamiento y si una alta significancia en los tratamientos, con un Coeficiente de Variación de 20.16% (Cuadro 4.2).

En la figura 4.13 se muestra la prueba de comparación de medias realizada entre líneas, se observaron tres grupos estadísticos diferentes, en el primer grupo nuevamente se tiene a AN-344 (L2) con la plúmula mas grande de 6.9 cm por tanto la mas vigorosa superando el resto de las líneas, seguido por AN-363 (L10) con 6.4 cm y AN-361 (L9) que obtuvo 6.3 cm, compartiendo este mismo grupo con el valor mas bajo esta AN-357 (L6) y AN-360 (L8) con 5.7cm. Para el siguiente grupo estadístico se encontraron tres de las líneas estudiadas, donde AN-345 (L3) obtuvo la longitud de plúmula de 5.3 cm y también compartiendo este mismo grupo AN-343 (L1) y AN-355 (L5) con 5.1 cm para ambas. Mientras que en el ultimo grupo se localizó la línea mas afectada para esta variable, con una longitud de tan solo 3.6 cm de nuevo dada por AN348 (L4) marcada como la menos vigorosa.



**Figura 4.13** Comparación de medias para las líneas estudiadas de trigo (*Triticum aestivum* L.) sometidas a diferentes potenciales osmóticos en la variable Longitud Media de Plúmula (LMP) en condiciones de Laboratorio.

En relación a la comparación de medias en los tratamientos como se aprecia en la figura 4.14 para LMP, donde tres de los tratamientos obtuvieron las plúmulas más grandes que fueron: el testigo (T1), 1 bar (T2) y -1.5 bares (T3) con 7, 7.2 y 7.3 cm respectivamente, por último se encontró -3 bares (T4) con la menor longitud de 1.1 cm. Méndez *et al.*, (2010) determinaron que de -3 a -6 bares de plietilenglicol se reduce considerablemente la altura de la plántula del 90-64% y 99-57% en comparación con el testigo, en dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.).

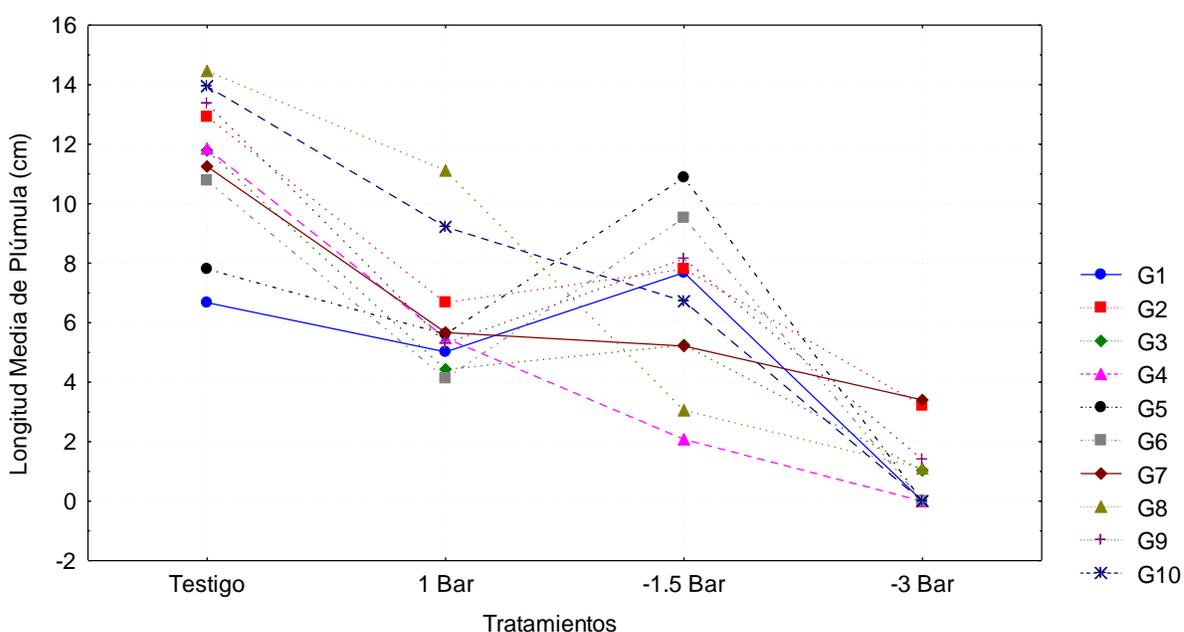


**Figura 4.14 Comparación de medias en los tratamientos estudiados en la variable de Longitud Media de Plúmula (LMP) en condiciones de Laboratorio.**

En la respuesta de la interacción de líneas por tratamiento, se encontró que todas las líneas estudiadas respondieron de manera diferente en cada uno de los tratamientos. En el tratamiento 1 (testigo) el mejor genotipo fue AN-360 (G8) de 14.5 cm, seguido por AN-363 (G10), AN-361(G9) y AN-344 (G2) con 14, 13.6 y 13 cm respectivamente, la de menor longitud AN-343 (G1) quien presentó 6.8 cm (Figura 4.15). Los resultados obtenidos en el testigo fueron los esperados, ya que no estuvo bajo condiciones de estrés por sequía, cabe mencionar que fue en este tratamiento donde la mayoría de los materiales presentaron las plúmulas mas grandes que en todos los demás tratamientos.

En cuanto al tratamiento 2 (1 bar) nuevamente AN-360 (G8) fue la mas sobresaliente con 11.2 cm de longitud, con solo 3.4 cm menos que el testigo y también quien mostro un valor alto fue AN-363 (G10) con 9.4 cm y la de menor tamaño la presentó

AN-357 (G6) con 4.2 cm, todos los demás genotipos mostraron una longitud media de entre 5 y 6.5 cm lo que significa que existió una baja en el desarrollo de la plúmula (Figura 4.15), en relación a los genotipos G8 y G10 fueron los que obtuvieron las plúmulas mas grandes que se registraron superando a todas los materiales de los tratamientos 3 y 4, pero cabe aclarar que nunca mostraron superioridad respecto al testigo.



**Figura 4.15** Respuesta de la Longitud Media de Plúmula (LMP) en la interacción de diez líneas elite de trigo (*Triticum aestivum* L.) en diferentes potenciales osmóticos.

En el tratamiento 3 (-1.5 bares) el genotipo AN-355 (G5) obtuvo la mayor longitud de 11 cm mostrando ser la mas vigorosa, estando ligeramente arriba que el T2 con 3.6 cm, seguido por AN-357 (G6) con 9.7 cm, de igual manera obtuvo 5.5 cm mas que el tratamiento anterior (1 bar), mientras que AN-348 (G4) fue la de menor de longitud

con 2 cm. Para este tratamiento se observa que cuatro de los genotipos muestran una longitud mayor que el tratamiento anterior a 1 bar, con valores de 6.8 a 8.4 cm (Figura 4.15) por tanto manifiestan tolerancia a sequía en este tratamiento, siendo una concentración mayor en comparación con el anterior.

Lógicamente en el tratamiento 4 (-3 bares) se encontraron valores aún mas bajos para esta variable, donde la longitud mas alta fue dada por AN-358 (G7) de 3.8 cm y los mas afectadas fueron G1, G4, G5, G6 y G10 con 0 cm al no tener desarrollo ni crecimiento de plúmula, como se muestra en la figura 4.15, considerado como el tratamiento de mayor efecto negativo sobre los materiales, probablemente se debió al cierre estomático por lo que se reduce la fotosíntesis, en el caso especifico de la G7 a pesar de ser el mejor genotipo esta muy por debajo del testigo con 7.6 cm, Méndez *et al.*, (2010) quienes reportaron que se inhibió fuertemente la altura de las plántulas de maíz (*Zea mays* L) a -9 y -12 bares en manitol.

## Contenido de Auxinas

En el análisis de varianza en la variable de cuantificación de auxinas se observó una diferencia altamente significativa para líneas y en la interacción de líneas por tratamiento, mientras que para tratamientos no mostró significancia, con un coeficiente de variación del 11.1% (Cuadro 4.3).

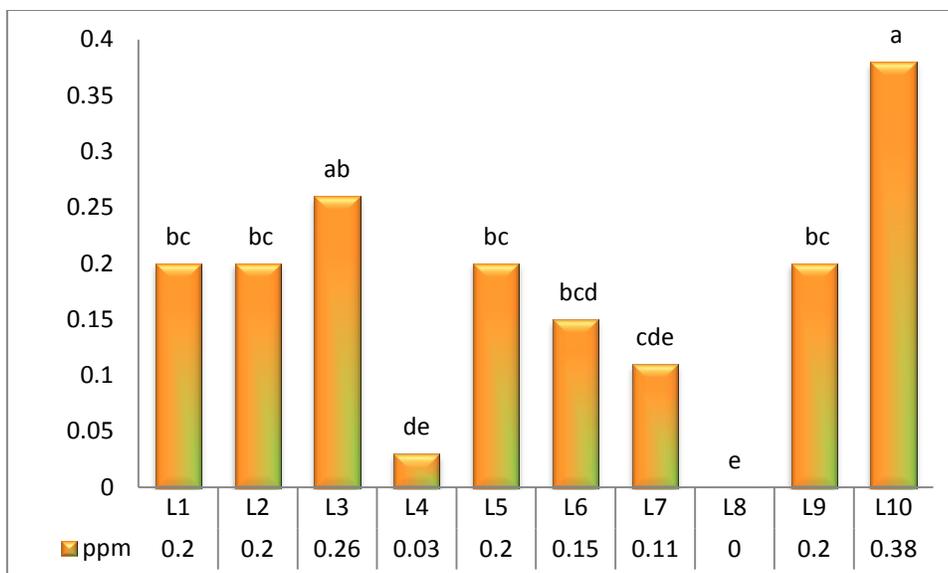
**Cuadro 4.3 Cuadros medios y significancia del análisis de varianza para la variable de Auxinas en Condiciones de Laboratorio.**

Fuente de Variación	Grados de libertad	Auxinas ppm
Líneas	9	0.045**
Tratamientos	3	0.153 NS
Línea por Tratamiento	27	0.031 **
Error	80	0.008
% C.V.		11.1

\*\* - Altamente significativo al 1% de probabilidad

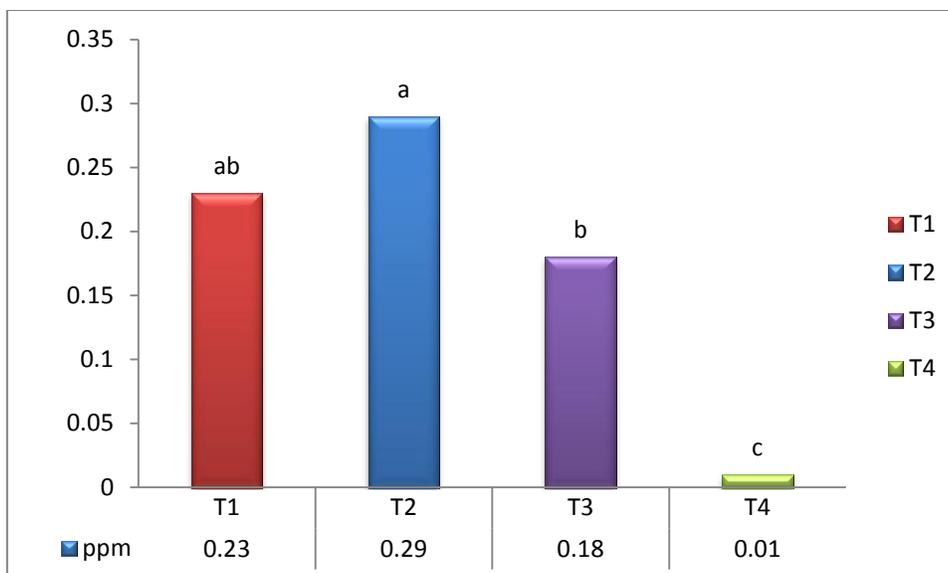
NS - No significativo

En la figura 4.16 se describe la prueba de comparación de medias para líneas, determinándose cuatro grupos estadísticos diferentes, donde AN-363 (L10) fue la más sobresaliente superando al resto de las líneas estudiadas con 0.38 ppm, seguido por AN-345 (L3) con 0.26 ppm integrando el primer grupo estadístico. En el siguiente grupo se encontraron cinco de los materiales estudiados que fueron L1, L2, L5 y L9 con un valor de 0.2 ppm, y con la cifra más baja dada por AN-357 (L6) con 0.15 ppm. En el tercer grupo solamente se tiene a AN-358 (L7) con 0.11 ppm. Para el cuarto grupo AN-360 (L8) la de menor contenido de auxinas con 0 ppm, seguido otra vez por AN-348 (L4) expresando también un valor inferior de 0.03 ppm, es por ello que son consideradas con menos características de resistencia a sequía.



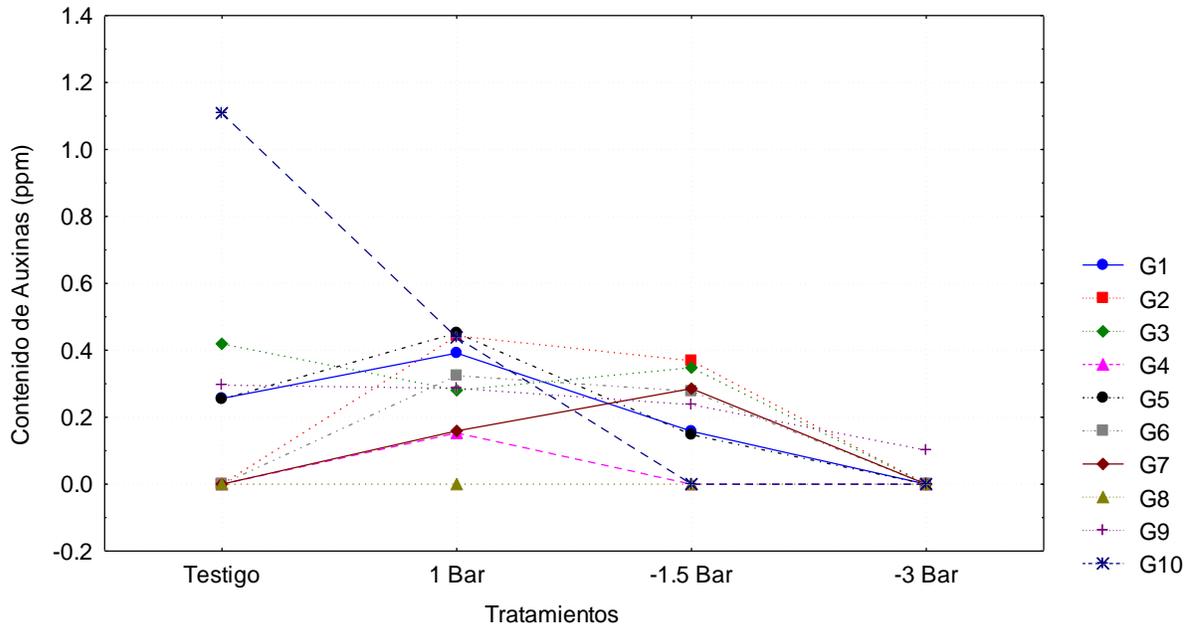
**Figura 4.16** Comparación de medias para las líneas estudiadas de trigo (*Triticum aestivum* L.) sometidas a diferentes potenciales osmóticos en la variable de Auxinas en condiciones de Laboratorio.

En la comparación de medias en los tratamientos (Figura 4.17) se encontró diferencia en las líneas estudiadas, el tratamiento 1 bar (T2) obtuvo el contenido más elevado de auxinas con 0.29 ppm; Hamayun *et al.*, (2010) al estudiar semillas de soja (*Glycine max* L) al 8 y 16% de PEG establecieron que el contenido de ácido abscísico (ABA) se incrementó en condiciones de sequía mostrando una respuesta de resistencia a sequía. Por otro lado Kumar *et al.*, (2001) al trabajar con el algodón (*Gossypium hirsutum* L) bajo estrés hídrico observaron también el aumento del ABA. Seguido por el testigo (T1) con 0.23 ppm, después se encontró el tratamiento -1.5 bares (T3) con 0.18 ppm y por último el valor más bajo de auxinas de 0.01 ppm se observó a -3 bares (T4) que fue la concentración más alta que se utilizó.



**Figura 4.17 Comparación de medias en los tratamientos estudiados en la variable de Auxinas (AIA) en condiciones de Laboratorio.**

Con relación a la interacción de líneas por tratamiento en el contenido de auxinas (Figura 4.18) todas las líneas tuvieron una respuesta diferente en cada uno de los tratamientos. En el tratamiento 1 (testigo) la mejor genotipo fue AN-363 (G10) con 1.1 ppm, seguido de AN-345 (G3) con 0.42 ppm, cabe mencionar que el valor registrado en este genotipo fue el más alto de todos los demás tratamientos para esta variable, mientras que AN-360 (G8), AN-358 (G7), AN-357 (G6), AN-348 (G4) y AN-344 (G2) obtuvieron la cifra mas baja de 0 ppm, sin embargo a pesar de presentar el contenido mas elevado en el G10, comparado con el resto de los tratamientos no obtuvo ningún contenido (0 ppm) en muchas de sus genotipos como ya se había mencionado anteriormente, la razón pudiera ser que debido a que este tratamiento no se sometió a ningún estrés por tanto no se elevo el Ácido indolacético (AIA).



**Figura 4.18** Respuesta del contenido de Auxinas en la interacción de diez líneas elite de trigo (*Triticum aestivum* L.) en diferentes potenciales osmóticos.

En el caso del tratamiento 2 (1 bar) como se muestra en la figura 4.18 el genotipo de mejor respuesta fue AN-355 (G5) con 0.48 ppm, seguido por AN-344 (G2) y AN-363 (G10) con los valores de 0.46 y 0.44 ppm respectivamente, también dentro de los resultados más altos está AN-343 (G1) con 0.4 ppm. En el menor contenido encontramos otra vez a AN-360 (G8) al expresar 0 ppm. Es importante mencionar que este tratamiento las líneas estudiadas en su mayoría presentaron un alto contenido, por lo tanto son consideradas con capacidad de resistencia a sequía al superar al testigo excepto en G8 y G3 como se mostró anteriormente; Rojas (2003) señala que en condiciones de estrés hídrico el Ácido abscísico (ABA) solo se incrementa considerablemente en los genotipos resistentes a sequía.

Para el tratamiento 3 (-1.5 bares), AN-344 (G2) fue el mejor con 0.38 ppm, seguido por AN-345 (G3) con 0.36 ppm, en cambio nuevamente AN-360 (L8) obtuvo el valor más bajo de 0 ppm, nuevamente la más afectada considerada con menos tolerancia a sequía (Figura 4.18).

En la misma figura 4.18 se observa al tratamiento 4 (-3 bares) donde existe un notable disminución en el contenido de auxinas, siendo en este tratamiento severamente las más afectadas ya que nueve de las líneas obtuvieron 0 ppm, sin embargo solamente AN-361 (L9) presentó 0.1 ppm de auxinas. En base a los resultados obtenidos se tiene que la línea experimental AN-360 (L8) no mostró contenido de auxinas en ninguno de los tratamientos, considerada como la de menor respuesta a estrés por sequía.

## V.- CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo, se acepta la Hipótesis y se concluye lo siguiente:

- En general la aplicación de polietilenglicol afecta la calidad fisiológica de las líneas estudiadas al aumentar la presión osmótica mediante su concentración, sin embargo algunas líneas respondieron de manera favorable en las diferentes variables evaluadas, permitiendo seleccionar materiales tolerantes a sequía.
- La línea experimental AN-344 sin tratamiento sobresalió en su calidad fisiológica de germinación, mientras que la AN-360 sin tratamiento mostró mejores valores de LMP así como la AN-363 presentó mayor contenido Auxinas que el resto de los materiales estudiados.
- La aplicación de polietilenglicol a 1 bar (T2), la línea experimental AN-363 expreso un alto porcentaje de germinación y en vigor AN-360 y AN-363 fueron las mejores en LMP y LMR, la mayor concentración de auxinas la obtuvo AN-355, por tanto con la aplicación de polietilenglicol en estos materiales se obtuvo un efecto positivo en el vigor.

- La aplicación de polietilenglicol a -1.5 bares (T3), las líneas AN-355, AN-357 y AN-343 obtuvieron una respuesta positiva en su calidad fisiológica, manifestando su superioridad conforme están nombradas, indicando su tolerancia a la sequía. Las líneas AN-355 y AN-357 sobresalieron en el vigor en LMR y LMP, por tanto se tiene que con la aplicación de polietilenglicol en estos materiales se logran efectos positivos en el vigor.
- La aplicación de polietilenglicol a -3 bares, afecto negativamente en general a todas las líneas experimentales en su calidad fisiológica, pero AN-357 fue la de menor respuesta en germinación y vigor, considerado este material con menos tolerante a sequia que el resto.

## VI.- LITERATURA CITADA

- 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 (49):001, pág. 28.
- Águeda, G. 2008. Técnicas de Interés en la mejora de cebadas tolerantes a sequía y temperaturas elevadas. Estabilidad de las membranas celulares. Agroecología (3):055-60.
- Aguilar, H.M.K. 2011. Selección de líneas elite de trigo con tolerancia a sequía a través de su respuesta fisiológica con polietilenglicol. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Fitomejoramiento. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Association of official seed analysts (AOSA). 1992. Seedling evaluation handbook. Contribution No. 35 The handbook of official seed. United Status of America. 76-80 p.
- Avendaño, A.C.H., Molina, G.J.D., Trejo, L.C., López, C.C. y Cadena, I.J.- 2008.- Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz. Agronomía Mesoamericana (19):027-37.
- Avendaño, A.C.H., Trejo, L.C., López, C.C., Molina, G.J.D., Santacruz, V.A. y Castillo, G.F. 2005. Comparación de la tolerancia a sequía de cuatro

- variedades de maíz (*Zea Mays*) y su relación con la acumulación de prolina. *Interciencia* (30)009: 560-564.
- Bahrami, H., Razmjoo, J. and Ostadi, J.A. 2012. Effect of drought stress on germination and seedling growth of sesame cultivars (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of AgriScience* (2)005:423-428.
- Barcelo, C.J., Nicolás, R.G., Sabater, G.B. y Sánchez, T.R. 2003. *Fisiología vegetal*. Edición pirámide, Madrid, 565 pp.
- Besnier, R.F. 1989. *Semillas biología y tecnología*.-Editorial mundi-prensa.- 637 pp.
- Castro, M.I., López, P.M.C. y González, H.V.A. Evaluación morfo-fisiológica de brotes de maíz sometidos a selección *in vitro* bajo estrés osmótico. 2009. *Revista Fitotecnia Mexicana* (32)004:281-288.
- Chartzoulakis, K., Noitsakis, B. and Therios, I. 1993. Photosynthesis, plant growth and matter distribution in kiwifruit as Influenced by water deficits. *Irrigation Science* (14)001:1-5.
- Cuellar, O.S.M. 2008. *Mecanismos de resistencia a sequía presentes en la variedad de frijol común pinto villa*. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. Departamento de Biología Molecular de Plantas.
- Curtis, B.C. 2002. *Wheat in the world. brad wheat improvement and production*. FAO. Rome, Italy. *Plant Production and Protection Series* 30:1-17.
- Copeland, L. O. 1979. *Principles of seed science and technology*. Burgess Pub. Co. Minn. MN., U.S.A. 369 p.
- Delouche, J. C. 2002. Germinación, deterioro y vigor de Semillas. *Seed News* (6)006.

- Di Giambatista, G., Garbero, M., Ruiz, M., Giulietti, A. y Pedranzani H. 2010. Germinación de *Trichloris crinita* y *Digitaria eriantha* en condiciones de estrés abiótico. *Pastos y Forrajes* (33)004:1-10.
- Digdem, K. and Mehmen, Y. 2008. Germination, seedling growth and relative water content of shoot in different seed sizes of triticale under osmotic stress of water and NaCl. *African Journal of Biotechnology* (7)016:2862-2868.
- Estrada, A., González, L.M., Argentel, L., Zaldívar, N. y Ramírez, R. 2007. Método para detectar tolerancia al estrés en dos variedades de trigo *Triticum aestivum* L. *Centro Agrícola* (34)002:5-9.
- Silmara, S.C.F, Perez, A.S.C. y Gualtieri, J. 2004. Processo germinativo de sementes de paineira sob estresses hidrico e salino. *Pesq. Agropec. Bras. Brasília* (39)009:903-909.
- Frensch, J. 1997. Primary responses of root and leaf elongation to water deficits in the atmosphere and soil solution. *Journal of Experimental Botany* (48)005:985-999.
- Gholami, M., Rahemi, M. and Kholdebarin, B.- 2010.- Effect of drought stress Induced by polyethylene glycol on seed germination of four wild almond species. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* (4)005:785-791.
- González, L.M., Argentel, L., Estrada, A., Saldivar, N. y Ramírez, R. 2005. Evaluación de la tolerancia a sequía en genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) obtenidos en Cuba por Inducción de mutaciones. *Cultivos Tropicales* (26):003: 65-69.
- González, L.M., Argentel, L., Estrada, A., Saldivar, N. y Ramírez, R. 2007. Tolerancia a la sequía en diferentes variedades de trigo sobre la base de

algunas variables del régimen hídrico y la concentración de pigmentos en estadía de la plántula. *Ciencias Técnicas Agropecuarias* (16)001:45-49.

González, T.G., Mendoza, H.F.M, Covarrubias, P.J., Mora, V.N., y Acosta, G.J.A. 2008. Rendimiento y calidad de semillas de frijol en dos épocas de siembra en la región del bajío. *Agricultura Técnica* (34)004:421-430.

Gutiérrez, G.A.S., Carballo, C.A., Mejía, C.J.A., Vargas, H.M., Trethowan R. y Villaseñor, M.H.E. 2006. Caracterización de trigos harineros mediante parámetros de calidad física y fisiológica de la semilla. *Agricultura Técnica en México* (32)001:45-55.

Hamayun, M., Afzal, K.S., Khan, S.Z., Latif, K.A., Ahmad, N. and In-Jung, L. 2010. Effect of polyethylene glycol induced drought stress on physio-hormonal attributes of soybean. *Pak. Journal Botanical* (42)002:977-986.

Haq, A., Vamil, R. and Agnihotri, R.K. 2010. Effect of osmotic stress (PEG) on germination and seedling survival of lentil (*Lens culinaris* MEDIK.). *Agricultural Sciences* (1)003:201-204.

Heydari, R. and Heydarizadeh M. 2002. Evaluation of resistance for salinity, drought, cold, heat and pH changes in four Iranian wheat cultivars. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* (9)001:81-91.

Jacobsen, S.E. y Mujica A. 1999. Resistencia de la quinua a la sequía y otros factores abióticos adversos y su mejoramiento. I Curso Internacional sobre fisiología de la resistencia a sequía en quinua (*Chenopodium quinoa* W.). Centro Internacional de la Papa (CIP) Lima Perú.

- Kabiri, R., Farahbakhsh, H. and Nasibi F. 2012. Effect of drought stress and its interaction with salicylic acid on black cumin (*Nigella sativa*) germination and seedling growth. World Applied Sciences Journal (18)004:520-527.
- Kirigwi, F.M., Ginkel, M.V, Trethowan, R., Sears, R.G., Rajaram, S. and Paulsen, G.M. 2004. Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. Euphytica ISSN 0014-2336 (135)003:361-371.
- Kumar, B., Pandey, D.M., Goswami, C.L. and Jain, S. 2001. Effect of growth regulators on photosynthesis, transpiration and related parameters in water stressed cotton. Biología Plantarum (44)003:475-478.
- Lawlor, D. W. 1970. Absorption of polyethylene glycols by plants and their effects on plant growth. New Phytol (69) 002: 501-513.
- Layne, G.J.A., Méndez, N.J.R. y Mayz, F.J. 2008. Efecto de potencial osmótico y del tamaño de la semilla sobre la germinación y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de laboratorio. Rev. Especialización de Ciencias Químicas-Biológicas (11)001:26-34.
- Limón, O.A., Villaseñor, M.H.E. y Pérez H.P. 2010. Sistemas de siembra para trigo y manejo de nitrógeno para la calidad de grano.- Folleto Técnico No 44. Instituto Nacional de Investigadores Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Av. Progreso No 5 Barrio Santa Catarina Del. Coyoacán, México D.F.-16 pp.
- López, R.R., Venturas, M.D., Aranda, G.I. y Sánchez, L.G. 2008. Evaluación precóz de la resistencia a la sequía inducida con polietilén glicol en cultivos hidropónicos de especies forestales. Sociedad Española de Ciencias Forestales, Aerotecnia 024.

- Madueño, M.A., García, P.J., Martínez, H.D. y Rubio, T.C. 2006. Germinación y crecimiento de frijolillo (*Rhynchosia minima* L.) DC con diferentes potenciales osmóticos. TERRA Latinoamericana (24)002: 187-192.
- Maguire, J. D. 1961. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergences and vigor. Crop Sci. 002:176-177.
- Maldonado, C., Pujado, E. y Squeo, F.A. 2002. El Efecto de la disponibilidad de agua durante el crecimiento de *Lycopersicon chilense* sobre la capacidad de sus semillas para germinar a distintas temperaturas y concentraciones de manitol y NaCl. Rev. Chilena de Historia Natural (75)004:651-660.
- Maldonado, C., Squeo, F.A. y Ibacache E. 2003. Respuesta fenotípica de *Lycopersicon chilense* al déficit hídrico. Rev. Chilena de Historia Natural (76):129-137.
- Marín, S.J., Mejía, C.J.A., Hernández, L.A., Carballo, C.A. y Peña, L.A. 2007. Acondicionamiento osmótico de semillas de cebolla (*Allium cepa* L.). Agricultura Técnica en México (33)001:63-71.
- Marín, S.J., Mejía, C.J.A., Hernández, L.A., Peña, L. y Carballo, C. 2007. Acondicionamiento osmótico de semilla de tomate de cascara. Agricultura Técnica en México (33)002:115-123.
- Martínez, S.J., Virgen, V.J., Peña, O.M.G. y Santiago, R.A. 2010. Índice de velocidad de emergencia en líneas de maíz. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas (1)003:289-304.
- Méndez, N.J., Ybarra, P.F. y Merazo, P.J. 2010. Germinación y desarrollo de plántulas de tres híbridos de maíz bajo soluciones osmóticas. V. polietilenglicol. Revista Tecnológica ESPOL-RTE (23)001:49-54.

- Méndez, N.J., Ybarra, P.F. y Merazo, P.J. 2010. Germinación y desarrollo de Plántulas de tres híbridos de maíz bajo soluciones osmóticas. VI. comparación entre cinco soluciones osmóticas. Revista Tecnológica ESPOL-RTE (23)001:55-60.
- Méndez, N.J., Ybarra, P.F. y Merazo, P.J. 2010. Germinación y desarrollo de plántulas de tres Híbridos de maíz bajo soluciones osmóticas. IV. manitol. Revista Tecnológica ESPOL-RTE (23)001:41-47.
- Ministerio de agricultura y desarrollo rural, fondo parafiscal importado cerealista, Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas-FENALCE 2006.- I Censo Nacional del Cultivo de Trigo 2005. Bogotá D.C.
- Mohammadkhani, N. and Reza, H. 2008. Water stress induced by polyethylene glycol 6000 and sodium chloride in maize cultivars.- Pakistan Journal of Biological Sciences (11)001:92-97.
- Mora, A.R., Ireta, H.M.F., Rodríguez, P.J.E. y Martínez, S. 2006. Acondicionamiento osmótico en semillas de *Brassica oleracea* L.- Revista Chapingo (12)001:105-112.
- Mora, A.R., Rodríguez, P.J.E., Peña, L.A. y Campos, A.D.A. 2004. Acondicionamiento osmótico de semillas de papa (*Solanum tuberosum* L.) con soluciones salinas.- Rev. Chapingo Serie Horticultura: 001:15-21.
- Moreno, I., Cuñarro, R., González, M.C., Almenares, J.C., Fito, E. y González, R. 2001. Comportamiento de tres nuevas variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) para condiciones de secano y secano favorecido en el Isla de la Juventud. Cultivos Tropicales (22)001:27-30.

- Moreno, M.E. 1984. Análisis físico y biológico de semilla agrícolas. Universidad Autónoma de México, Instituto de Biología, México, D.F. 383 pp.
- Navarro, E., Vega, C., Narváez, F. y Córdova, H. 1996. Selección para calidad fisiológica de la semilla y rendimiento en líneas S2 derivadas de cuatro poblaciones tropicales de maíz (*Zea mays* L.). *Agronomía Mesoamericana* (7)001:38-61.
- Nuñez, B.A., Ritchie, J. y Smucker, A.JM. 1998. Sequía en el crecimiento, la fotosíntesis y la intercepción de luz en frijol común. *Agronomía Mesoamericana* (9)002:001-8.
- Olivares, A., Johnston, M. y San Martín, C. 1999. Emergencia y establecimiento de plántulas de falaris (*Phalaris aquatica* L.) endurecidas en suelo con diversas condiciones hídricas. *Agro sur* (27)002:10-21.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2011. Alerta por sequía. Reunión Ministerial de Emergencia.- Roma.
- Ortiz, M. Silva., H. Silva., P. y Acevedo E. 2003. Estudio de parámetros hídricos foliares en trigo (*Triticum aestivum* L.) y su uso en selección de genotipos resistencia a sequía. *Revista Chilena de Historia Natural* (76):219-233.
- Peña, B.R.J., Pérez, H.P., Villaseñor, M. E., Gómez, V.M.M. y Mendoza, L.M.A. 2008. Calidad de la cosecha de trigo en México ciclo primavera verano 2006. Publicación especial del CONASIST-CONATRIGO, Tajín No. 567, Col. Vertiz Narvarte, Delegación Benito Juárez C.P. 03600 México, D.F. 28 pp.
- Pingali, P.L. 1999. CIMMYT 1998-99 World Facts and Trends. Global wheat research in a changing World: Challenges and achievements. México, D. F, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.-52 p.

- Radhouane, L. 2007. Response of Tunisian autochthonous pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000. African Journal of Biotechnology (6)009: 1102-1105.
- Rojas, G.M. 2003. La Resistencia a la sequía.- Ciencia UANL (6)003:326-331.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2000-2006. Centro de Estadística Agropecuaria (SAGARPA-CEA).
- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2007. Estadísticas sobre producción de trigo en México. SIAP-SAGARPA.
- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2004. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SIAP-SAGARPA 2004). México, D. F.
- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP-SAGARPA) con información del USDA, Producción mundial de principales granos 1990/1991-2003/2004, 2005.
- Turk, M.A., Rahman A., Tawaha, M. and Dong, L.K. 2004. Seed germination and seedling growth of three lentil cultivars under moisture stress. Asian Journal of Plant Sciences (3)003:393-397.
- Vargas, P.R. 2010. Estrés con polietilen-glicol y cloruro de sodio en familias de trigo (*Triticum aestivum* L.). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Fitomejoramiento. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Villaseñor M.H.E. y Espitia R.E. 2000. El Trigo de temporal en México. Primera Edición. Chapingo, Estado de México, México, Secretaria 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. Pag 16. (Libro Técnico No 1).

Villaseñor, M.H.E. 2000. Reseña del programa de mejoramiento genético de trigo para temporal en México, Campo Experimental Valle de México, INIFAP-SAGAR, Chapingo.- Agricultura Técnica en México.- (26)001:109-123.

Villaseñor, M.H.E., Espitia, R.E., Huerta, E.J., Solís, M.E., González, I.R.M., Osorio, A.L. y Pérez, H.P. 2007. Triunfo F2004 nueva variedad de trigo harinero de temporal en México.- Agricultura Técnica en México (33)003:319-322.