

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Estudio Fisiológico de Diez Líneas Elite de Trigo a Través de Estrés Hídrico con  
Polietilenglicol

Por:

**VÍCTOR MANUEL HERNÁNDEZ PÉREZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México

Febrero 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Estudio Fisiológico de Diez Líneas Elite de Trigo a Través de Estrés Hídrico con  
Polietilenglicol

Por:

**VÍCTOR MANUEL HERNÁNDEZ PÉREZ**

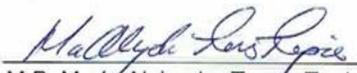
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría.

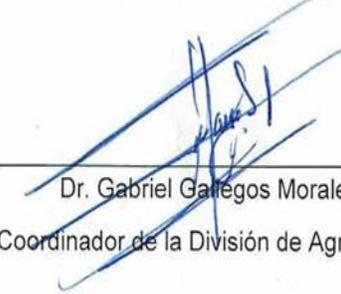
  
Dr. Víctor Manuel Zamora Villa  
Asesor Principal

  
M.P. María Alejandra Torres Tapia

Coasesor

  
M.C. Modesto Colín Rico

Coasesor

  
Dr. Gabriel Gallegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Febrero 2019

## **Agradecimientos**

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

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

### **A mis maestros**

#### **MP. MARIA ALEJANDRA TORRES TAPIA**

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

¡MUCHAS GRACIAS MAESTRA!

#### **DR. VICTOR MANUEL ZAMORA VILLA**

#### **MC. MODESTO COLIN RICO**

Agradecimientos por su ayuda y tiempo en colaboración en la revisión de este trabajo.

#### **TLQ. MARTHA ALICIA JARAMILLO SÁNCHEZ**

Por su apoyo en el laboratorio para la realización de este trabajo.

#### **A mi amiga Aylin Hidalgo Pérez.**

Por brindarme su amistad, por el tiempo, consejos y por orientarme para lograr terminar este trabajo.

#### **A todos mis amigos y compañeros de generación.**

Por sus amistades y consejos que me brindaron y sobre todo por compartir momentos de alegrías, tristezas y todas las cosas que vivimos desde que llegamos a la universidad recuerdos que siempre llevare guardado en mi mente y corazón.

## **Dedicatorias**

### **A mis padres**

**Valentina Pérez López**

**Eduardo Hernández Esparza**

### **A mi tío**

**Luis Hernández Esparza**

### **A mis padres adoptivos**

**María Catalina Quintero Rodríguez**

**José Isabel Mireles Canizales**

Por todo el amor, apoyo, protección, confianza, atención, enseñanzas que me brindaron y siguen brindando en cada momento de mi vida y el sacrificio que han hecho para poder lograr lo que hasta ahora he logrado en mi vida

¡Lo logre...!!

**A mis hermanos Jesús Eduardo Hernández Pérez y María Guadalupe Hernández Pérez** por los momentos maravillosos que me hicieron pasar cada vez que los visitaba en las vacaciones.

**A mi cuñada Keyrin Kareli Cruz Hernández** por los consejos que me haz brindado siempre.

**A mi sobrino Zadquiel Said Hernández Cruz**, por lo feliz que me hizo cuando llegó a este mundo y por los momentos felices que pasamos y verlo sonreír.

## ÍNDICE GENERAL

<b>Agradecimientos</b> .....	i
<b>Dedicatorias</b> .....	ii
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>RESUMEN</b> .....	viii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>Objetivo general</b> .....	3
<b>Hipótesis</b> .....	3
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
Origen del cultivo de trigo.....	4
Importancia mundial y económica del cultivo .....	5
Importancia y producción nacional del cultivo de trigo .....	7
Importancia y producción estatal del cultivo de trigo .....	9
Descripción botánica.....	10
Requerimientos Edafoclimáticos .....	11
Ciclo vegetativo .....	12
Particularidades del cultivo.....	16
Variedades de trigo .....	20
Concepto de sequía.....	23
Efectos que causa la sequía a las plantas.....	24
Características de las plantas resistentes a sequía .....	26
Respuesta de la planta al estrés hídrico.....	27
Efecto de la sequía sobre el crecimiento vegetal .....	28
La resistencia a la sequía.....	28
Criterios para la selección de plantas con resistencia a sequía .....	29
Métodos de selección de materiales tolerantes a sequía .....	29
<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	33
Localización del estudio .....	33
Material genético .....	33
Tratamientos .....	33

Preparación de las concentraciones de PEG-8000.....	34
Metodología.....	34
Variables evaluadas.....	35
<b>Índice de Velocidad de Emergencia (IVE)</b> .....	35
Capacidad de germinación.....	35
En la prueba de germinación se realizó conforme a las reglas internacionales ISTA (2010) y la evaluación de Plántulas conforme a las AOSA (1992). ....	35
<b>Porcentaje de Plántulas Normales (PN)</b> .....	35
<b>Número de Plántulas Anormales (PA)</b> .....	36
<b>Porcentaje de Semillas sin Germinar (SSG)</b> .....	36
Vigor.....	36
<b>Longitud Media de Plúmula (LMP)</b> .....	36
<b>Longitud Media de Radícula (LMR)</b> .....	37
<b>Tasa de crecimiento de plántula, Peso Seco (PS)</b> .....	38
Contenido de Auxinas.....	38
Diseño Experimental y Análisis estadístico.....	39
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	40
Índice de velocidad de emergencia.....	40
Capacidad de germinación.....	43
<b>Plántulas normales</b> .....	43
<b>Plántulas anormales</b> .....	46
<b>Semillas sin germinar</b> .....	48
Prueba de vigor mediante longitud media de plúmula.....	51
Prueba de vigor mediante longitud media de radícula.....	54
Prueba de vigor Peso seco.....	57
Contenido de Auxinas.....	60
Correlaciones entre las variables.....	64
<b>CONCLUSIONES</b> .....	68
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	69

## ÍNDICE DE CUADROS

No. de Cuadro	Descripción	Página
2.1	Producción de trigo, Ciclos OI 2016 y 2017. Avances a mayo 2017 (miles de toneladas).....	9
2.2	Clasificación botánica del trigo.....	10
2.3	Tipo de abonos para trigo.....	19
3.1	Relación de las diez genotipos de Trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.) evaluadas en condiciones de laboratorio.....	33
3.2	Identificación de los tratamientos aplicados a las diez genotipos estudiadas.....	34
3.3	Concentraciones de polietilenglicol (PEG 8000) para la elaboración de los tratamientos evaluados.....	34
4.1	Cuadrados medios y nivel de significancia en la prueba de índice de velocidad de emergencia.....	40
4.2	Resultados de la prueba de comparación de medias entre tratamientos y entre genotipos en la prueba de índice de velocidad de emergencia.....	41
4.3	Cuadrados medios y nivel de significancia en la prueba de capacidad de germinación en las variables plántulas normales, anormales y semillas sin germinar.....	43
4.4	Resultados de la prueba de comparación de medias entre tratamientos y genotipos en la prueba de capacidad de germinación en las variables plántulas normales, anormales y semillas sin germinar.....	44
4.5	Cuadrados medios y nivel de significancia en la prueba de longitud media de plúmula.....	51
4.6	Resultados de la prueba de comparación de medias entre tratamientos y entre genotipos en la prueba longitud media de plúmula.....	51
4.7	Cuadrados medios y nivel de significancia en la prueba de longitud media de radícula.....	54
4.8	Resultados de la prueba de comparación de medias entre tratamientos y entre genotipos en la prueba longitud media de radícula.....	55
4.9	Cuadrados medios y nivel de significancia en la prueba peso seco.....	58
4.10	Resultados de la prueba de comparación de medias entre tratamientos y entre genotipos en la prueba peso seco.....	58
4.11	Cuadrados medios y nivel de significancia en la prueba contenido de auxinas.....	61
4.12	Resultados de la prueba de comparación de medias entre tratamientos y entre genotipos en la prueba contenido de auxinas...	61
4.13	Resultado del análisis de correlaciones entre las variables estudiadas en el tratamiento 1 (0.5 Bars de polietilenglicol) .....	64

<b>4.14</b>	Resultado del análisis de correlaciones entre las variables estudiadas en el tratamiento 2 (1.0 Bars de polietilenglicol).....	<b>65</b>
<b>4.15</b>	Resultado del análisis de correlaciones entre las variables estudiadas en el tratamiento 3 (1.5 Bars de polietilenglicol).....	<b>65</b>
<b>4.16</b>	Resultado del análisis de correlaciones entre las variables estudiadas en el tratamiento 4 (Testigo) .....	<b>66</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

No.de Figura	Descripción	Página
4.1	Respuesta de la interacción de genotipos de trigo por tratamiento en la variable IVE en condiciones de laboratorio, 2018.....	42
4.2	Respuesta de la interacción de genotipos de trigo por tratamiento en la variable Plántulas Normales en condiciones de laboratorio, 2018.....	45
4.3	Respuesta de la interacción de genotipos de trigo por tratamiento en la variable Plántulas Anormales en condiciones de laboratorio, 2018.....	47
4.4	Respuesta de la interacción de genotipos de trigo por tratamiento en la variable Semillas Sin Germinar en condiciones de laboratorio, 2018.....	49
4.5	Respuesta de la interacción de genotipos de trigo por tratamiento en la variable longitud media de plúmula en condiciones de laboratorio, 2018.....	52
4.6	Respuesta de la interacción de genotipos de trigo por tratamiento en la variable Longitud Media de Radícula en condiciones de laboratorio, 2018.....	56
4.7	Respuesta de la interacción de genotipos de trigo por tratamiento en la variable Peso Seco en condiciones de laboratorio, 2018.....	59
4.8	Respuesta de la interacción de genotipos de trigo por tratamiento en la variable contenido de Auxinas en condiciones de laboratorio, 2018.....	62

## RESUMEN

La agricultura enfrenta problemas como la sequía, en consecuencia del cambio climático, por ello es necesaria la búsqueda de nuevas variedades tolerantes a este estrés. Para ello, el Programa de cereales de grano pequeño de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ha generado líneas experimentales de trigo, que pudieran estar disponibles para la producción agrícola en el norte de México; sin embargo, es necesario estudiarlos a través de condiciones artificiales de sequía mediante polietilenglicol (PEG). En el presente estudio se evaluaron diez líneas experimentales, aplicando tres concentraciones de 0.5, 1.0 y 1.5 Bares de polietilenglicol (PEG) y un testigo con agua en condiciones de laboratorio, el estudio se realizó en el Laboratorio de biotecnología-Cultivo “*In Vitro*” de Tejidos Vegetales perteneciente a la UAAAN, aplicando cuatro repeticiones por cada material genético, sobre papel germinación “Anchor”, humedecido con cada tratamiento de PEG-8000. Se determinaron las variables: Índice de Velocidad de Emergencia (IVE), Primer conteo (PC), la capacidad de germinación evaluando Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA) y Semilla sin Germinar (SSG); así como las pruebas de vigor mediante Longitud Media de Plúmula y Radícula (LMP y LMR), y la tasa de crecimiento de plántula de cada repetición mediante el Peso Seco (PS), además de evaluar la bioquímica del contenido de auxinas presente en la raíz de las plántulas normales resultantes. Los datos fueron analizados con un diseño factorial con arreglo completamente al azar, y una vez dadas las significancias se realizó una prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) y correlaciones entre las variables en por cada tratamiento.

El análisis de varianza en las variables estudiadas, reflejó una diferencia altamente significativa entre tratamientos, genotipos y en la interacción genotipos por tratamientos, resultando porcentajes de germinación mayores en los tratamientos a 1.0 y 1.5 bares de polietilenglicol, destacando el genotipo AN-344-09 al presentar mayor número de PN, menor número de PA y SSG, mientras que el tratamiento a 0.5 bares, el genotipo AN-394-09 tuvo 98.00% de germinación y AN-360-09 el 95.00%. Con respecto a vigor, el tratamiento con 0.05 bares tuvo los mayores

valores en LMP y a 1.5 bares en LMR, sobresaliendo nuevamente el genotipo AN-344-09 en ambas pruebas y tratamientos. Estos resultados llevan a la conclusión de que los materiales evaluados tuvieron diferente respuesta en la calidad fisiológica tanto en la capacidad de germinación como en el vigor, donde el genotipo AN-366-09 sobresalió en su IVE; el genotipo AN-344-09 en el porcentaje de germinación con PN, mientras el genotipo AN-360-09 en las pruebas de vigor. Sin embargo, existió un comportamiento diferente en las concentraciones estudiadas de polietilenglicol. Además, al existir una relación positiva de IVE con PN y negativa con PA y SSG con la aplicación de polietilenglicol, el genotipo AN-344-09 sobresalió, al obtener mayor emergencia y germinación en los tratamientos, por lo que se puede considerar un material vigoroso y posiblemente tolerante a características de sequía. Así mismo, existe una relación positiva de PN con las variables LMP y LMR con la aplicación de polietilenglicol, destacando los genotipos AN-343-09 en LMP y nuevamente AN-344-09 en LMR, lo que reafirma su vigor a pesar del déficit hídrico. Al existir una relación significativa y positiva entre PS y el contenido de auxinas en la raíz de los genotipos en los tratamientos estudiados, el genotipo AN-360-09 sobresalió con el más alto peso seco de plántulas y mayor contenido de auxinas en raíz.

**Palabras clave:** *Trigo, polietilenglicol, germinación y vigor*

## INTRODUCCIÓN

La historia de los cereales, especialmente el trigo y la civilización humana han estado muy vinculadas, por ello es considerado el cultivo más antiguo sembrado por el hombre en enormes extensiones y en grandes cantidades. A nivel mundial y en México, es una de las fuentes de alimentación de grano primordiales para los seres humanos junto con el maíz, siendo por su producción uno de los más importantes.

El cultivo de trigo se adapta mejor a climas templados y fríos; siendo gran parte de nuestro país de clima templado, razón por la cual México es potencialmente uno de los mayores productores de este cereal. Sin embargo, existen algunos factores que provocan más pérdidas a la producción como: el déficit hídrico o sequías prolongadas, heladas, plagas y enfermedades, siendo los rendimientos de producción los más afectados.

La sequía, por ser uno de los factores que más limita su productividad en las áreas temporaleras, es ocasionada por la falta de precipitación total o parcial, por una precipitación insuficiente, o por una mala distribución.

Además de este factor consecuente del trastorno del cambio climático, registrado en años recientes, desafortunadamente ha afectado fuertemente en la producción nacional en algunas zonas comerciales provocando bajos rendimientos, debido a prolongadas temporadas de sequía, teniendo grandes pérdidas económicas y afectando a muchos agricultores que tienen su base de sobrevivencia en este cultivo.

En registros SAGARPA (2004), menciona que desde hace diez años, la producción de trigo de temporal en México se ha tornado irregular e insuficiente, debido a una deficiente precipitación pluvial alargando los periodos de sequía.

En el estado de Coahuila, la producción de este cultivo tiene gran importancia por ser una de las actividades que brindan mayores ingresos económicos a las familias de campesinos de las diferentes zonas trigueras de la entidad. Sin embargo, se

puede afirmar que el desarrollo tecnológico alcanzado en las diferentes regiones del estado es heterogéneo, donde en la región Laguna y Norte del estado se observa un avance en los sistemas de producción, mientras en la región Centro-desierto y Sur esto no se ha logrado; además de que las zonas de temporal últimamente presentan precipitaciones erráticas y escasas, surge una gran necesidad de contar con variedades que sean tolerantes o resistentes a estas condiciones.

Esta problemática, no solo es en el norte de México, concierne a todos los ámbitos, sociales y científicos; y ha sido evidente el realizar diferentes estudios de producción, rendimiento, selección de recursos o mejoramiento genético en los distintos centros y universidades dedicadas a la investigación en el sector agropecuario, con la finalidad de reducir este efecto.

Algunos de ellos, ha sido a través de estudios en condiciones de laboratorio, simulando déficit hídricos mediante el uso de soluciones con potenciales hídricos definidos, tales como manitol, cloruro de sodio, sacarosa y polietilenglicol entre otros.

Donde este último, es un polímero neutro disponible con alto peso molecular, soluble en agua y con baja toxicidad a los mamíferos, siendo efectivo para imponer estrés hídrico en plantas, conduciendo a la selección de genotipos tolerantes a sequía, y considerado como una alternativa de gran valor para la explotación en áreas propensas a sequía. (Radhouane, 2007; Méndez *et al.*, 2010).

Aunado al desarrollo de tecnología en crear nuevos materiales genéticos con tales características, el Programa de Cereales de Grano Pequeño del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ha generado nuevas líneas de trigo con características fisiológicas potenciales para la tolerancia o resistencia a la sequía, y contar con nuevas variedades que ofrezcan alternativas a los pequeños agricultores en estas zonas devastadas o con cambios en las condiciones climáticas.

Sin embargo, es necesario contar con suficiente información sobre su respuesta o comportamiento bajo condiciones de estrés hídrico mediante la germinación y vigor

de la semilla en líneas elite de trigo experimentales generadas por el Programa, con la finalidad de selección y disponer de materiales genéticos como alternativas ante el gran problema al que se enfrenta la agricultura en México. Para ello, se planteó el siguiente objetivo general e hipótesis:

### **Objetivo general**

- Evaluar la respuesta fisiológica de diez líneas elite de trigo a través de estrés hídrico, con diferentes concentraciones de polietilenglicol en condiciones de laboratorio.

### **Hipótesis**

- Al menos una de las líneas elite estudiadas presentará una respuesta fisiológica diferente en la capacidad de germinación y vigor en alguna de las concentraciones de polietilenglicol aplicadas y ser considerada como una línea tolerante a la sequía.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Origen del cultivo de trigo

El origen del trigo cultivado actualmente se encuentra en la región asiática comprendida entre los ríos Tigris y Éufrates, habiendo numerosas gramíneas silvestres comprendidas en esta área, emparentadas con el trigo desde Oriente Medio. El cultivo de trigo se difundió en todas partes del mundo, por ser considerado un principal alimento humano. La primera forma de trigo recolectadas por el hombre hace más de doce mil años eran del tipo *Triticum monococcum* y *T. dicoccum*, caracterizadas fundamentalmente por tener espigas frágiles que se disgregan al madurar (Garnica, 2004).

En otros registros históricos, se menciona que el trigo es originario de la parte sureste de Asia. Sin embargo, desde los tiempos prehistóricos el trigo ya era cultivado en los países de Grecia, Persia, Egipto y en toda Europa (FAO, 1990).

Los trigos, cultivados y silvestres se hallan incluidos en el género *Triticum* del cual se conocen más de 30 especies. Dentro de estas especies existen tres subdivisiones: diploides, tetraploides y hexaploides, según el número de cromosomas contenidos en sus células reproductoras; ( $n=7$ ,  $n=14$  y  $n=21$ ), respectivamente; dentro de estas subdivisiones existen diferencias en características anatómicas y morfológicas, en las cuales, los trigos tetraploides han sido originados por los antiguos trigos diploides, generalmente mediante hibridación con gramíneas silvestres (Bewley y Black, 1978).

El origen genético del trigo es de gran interés, pues constituye un ejemplo clásico de cómo puede combinarse en la naturaleza en una serie poliploide de especies íntimamente relacionadas entre sí. Las especies de *Triticum* y sus parientes más cercanos se dividen en grupos diploides, tetraploide y hexaploides, con número cromosómico de  $2n=14$ ,  $28$  y  $42$  respectivamente (Bewley y Black, 1978).

Las especies pertenecientes a los grupos de los tetraploides se han originado aparentemente de las combinaciones entre dos especies diploides, *Triticum*

*monococum* (AA) y *Aegilops speltoides* (BB) o parientes próximos de estas especies. esta cruce dió origen a los Emmer tetraploides con la formula genómica AABB (Bewley y Black, 1978).

Los trigos hexaploides se originaron como anfiploides, entre los Emmer tetraploides (AABB) y *Aegilops squarrosa* (DD), se ha sintetizado un trigo hexaploide semejante, (AABBDD) que forman híbridos fértiles (Bewley y Black, 1978).

### **Importancia mundial y económica del cultivo**

El trigo ha formado parte del desarrollo económico y cultural del hombre, siendo el cereal más cultivado. Es considerado un alimento para consumo humano, aunque gran parte se destina a la alimentación animal, así como a subproductos de la transformación industrial.

Su propiedad más importante, es la capacidad de cocción de la harina debida a la elasticidad del gluten que contiene. Esta característica permite la panificación, constituyendo un alimento básico 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).

SAGARPA (2000), consideró 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.

Se cultiva en todo el mundo, siendo la principal área de cultivo la zona templada del hemisferio norte y ocupa el primer lugar en producción y es el más extenso cultivo

del mundo, entre los cereales básicos de la alimentación humana y animal (Moreno, 1996).

Las principales regiones trigueras del mundo, son donde las lluvias anuales no alcanzan los 750 mm a medida que disminuye esta cantidad, la producción es menos segura. Sin embargo, utilizando prácticas culturales adecuadas se consiguen buenos rendimientos hasta con 400 mm anuales (Flores, 2004).

Los primeros indicios apuntan a una probable disminución de la producción mundial de trigo este año según en un informe de la FAO. La situación respecto de la oferta y la demanda mundial de cereales, se ha mantenido de manera general en niveles estables en 2017/18 como lo demuestran los coeficientes reservas-utilización de cereales y los períodos siguientes de precios internacionales relativamente bajos.

El primer pronóstico de la FAO relativo a la producción mundial de trigo en 2018, se sitúa en 744 millones de toneladas, lo cual indica una segunda disminución consecutiva; no obstante, se calcula que la producción mundial superará la media. Según las proyecciones, la producción mundial de trigo aumentará más o menos en un 1,3 por ciento anual durante el período de proyecciones a 679 millones de toneladas para 2010.

Ello representaría un incremento de aproximadamente 12 millones de toneladas, o sea un 15 por ciento, con respecto al período base. Se prevé que la producción de trigo aumentará a un ritmo más rápido durante el período de las proyecciones que en los años 1990, sostenido por un decidido impulso registrado en los países en transición y por un crecimiento más rápido en los principales países productores de trigo de América Latina y el Caribe.

Según Pingali (1999), menciona que 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 alcanzaría hasta 775 millones de toneladas anuales.

## **Importancia y producción nacional del cultivo de trigo**

En México el consumo de trigo muestra una tendencia creciente, tanto en el medio urbano como en el medio rural, observándose el nivel más alto en el primero y los incrementos más rápidos en el segundo (Molina, 1990).

Moreno (1996), mencionó que en México se sembraba trigo en casi todos los estados de la República y se adapta tanto a tierras pobres como a ricas, zonas húmedas, semi húmedas y secas.

A continuación, se muestra una de las clasificaciones de las zonas en México, según este autor:

- 1).- Zona Noroeste, abarca los estados de Sonora, Sinaloa, Baja California (Norte y Sur), cuya altitud sobre el nivel del mar es de 0 a 150 metros.
- 2).- Zona del bajío, Querétaro, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, y parte de San Luís Potosí, cuya altura varía de 1200 a 1700 m.s.n.m.
- 3).- Región de la Laguna, que comprende parte de los estados de Coahuila y Durango con 1000 a 1200 m.s.n.m.
- 4).- Zona Centro, Aguascalientes, Zacatecas, Durango, y parte de San Luís Potosí con una altura de 1900 a 2500 m.s.n.m.
- 5).- Zona Norte, abarca Chihuahua, Coahuila, Nvo. León y Tamaulipas, con una altura de 300 a 1100 m.s.n.m.
- 6).- Los Valles Altos de México, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala y Oaxaca con una altura de 1900 a 2400 m.s.n.m.

La FAO 2016, reporta que México es líder en la producción de trigo y que en el 2015 Argelia fue el primer destino de exportación de este cereal mexicano.

En la producción de trigo de México se invirtió la tendencia a la baja de los años 1990, donde el trigo duro fue el beneficiario principal porque obtiene mejores rendimientos y más resistente a las enfermedades. El aumento de la superficie

sembrada, unido a un cierto incremento de los rendimientos, también determinó un aumento de la producción de trigo en otros países.

Mediante las políticas públicas de la SAGARPA orientadas a la innovación para hacer más productiva y sustentable a las actividades primarias en el país, se obtuvo en el periodo 2015-2016 un aumento de alrededor de una tonelada por hectárea cultivada de trigo, al pasar de 4.8 a 5.8 toneladas en la misma superficie.

Según en un reporte de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), incrementó la producción de trigo “Hecho en México” 14.6 de 2013 a 2016, siendo de casi 500 mil toneladas en cuatro años, gracias a las políticas públicas y prácticas agronómicas más modernas destinadas al aprovechamiento sustentable de los recursos disponibles.

Los cinco principales estados productores de trigo en el país son Sonora, con 1.8 millones de toneladas; Baja California, 579 mil toneladas; Sinaloa, 364 mil toneladas; Guanajuato, 291 mil toneladas y Michoacán, 209 mil toneladas.

En conjunto, dichos estados aportan el 87.1 por ciento de la producción total de trigo, donde Sonora participa con el 49.4 por ciento; Baja California, 15.1 por ciento; Sinaloa, 9.5 por ciento; Guanajuato, 7.6 por ciento y Michoacán, 5.4 por ciento.

Sin embargo, este cultivo se produce en 23 entidades del país en una superficie registrada de 728 mil 900 hectáreas.

Otras entidades productoras de trigo son Jalisco, Chihuahua, Nuevo León, Tlaxcala, Coahuila, Baja California Sur, Durango, Oaxaca, Estado de México, Zacatecas, Tamaulipas, Hidalgo, Puebla y Veracruz.

El trigo aporta el 12.9 por ciento del volumen nacional de granos que se producen en el país y el valor total de este producto se estima en 14 mil 167 millones de pesos, donde el 85 por ciento del volumen total se obtiene durante los meses de mayo y junio.

Respecto a las entidades que reportaron los mayores crecimientos en producción entre 2015 y 2016, destacan Coahuila, 29.4 por ciento; Puebla, 17.1 por ciento;

Michoacán, 16.9 por ciento; Sonora, 16.3 por ciento; Veracruz, 14.2 por ciento; Sinaloa, 13.3 por ciento; Oaxaca, 10.7 por ciento, y Baja California, 7.9 por ciento.

### **Importancia y producción estatal del cultivo de trigo**

Respecto a las entidades que reportaron los mayores crecimientos en producción entre 2015 y 2016, destacan Coahuila, 29.4 por ciento (SIAP, 2017).

En la región norte y centro del estado de Coahuila se siembran anualmente cerca de 24,000 hectáreas con cultivos de otoño-invierno, de las cuales el trigo ocupa más del 40% (INIFAP, 2004).

En avances reportados por SAGARPA (2017), la superficie sembrada de trigo, para el ciclo otoño-invierno 2016-2017 es de 599 mil hectáreas, de las cuales se han cosechado 442 mil, obteniendo una producción de 2 millones 564 mil toneladas; 3.4% menos a la obtenida en su homólogo ciclo del año anterior (Cuadro 2.1).

#### **Cuadro 2.1 Producción de trigo, Ciclos OI 2016 y 2017. Avances a mayo 2017 (miles de toneladas).**

<b>Producción de trigo, ciclos 2016 y 2017</b>				
<b>Avances a mayo 2017 (miles de toneladas)</b>				
<b>Entidad</b>	<b>Producción</b>		<b>Var % Anual</b>	<b>Estructural % 2016</b>
	<b>2016</b>	<b>2017</b>		
<b>Nacional</b>	2,654	2,564	-3.4	100.0
Sonora	1,624	1,532	-5.7	59.7
Guanajuato	241	253	4.9	9.9
Sinaloa	316	246	-22.3	9.6
Michoacán	162	217	33.9	8.5
Jalisco	82	117	42.4	4.6
Baja california	150	106	-29.5	4.1
Nuevo león	41	53	29.8	2.1
Coahuila	13	18	32.5	0.7
Baja california sur	16	16	-1.7	0.6
Tamaulipas	6	3	-40.2	0.1
Resto	3	5	57.7	0.2

Datos preliminares. Fuente SIAP.

## Descripción botánica

Ramiro 2008. El trigo pertenece a la familia de las gramíneas (*poaceae*), siendo las variedades más cultivadas *Triticum durum* y *T. compactum*. El trigo harinero hexaploide llamado *T. aestivum* es el cereal panificable más cultivado en el mundo. En el Cuadro 2.2, se muestra la clasificación botánica de la especie.

**Cuadro 2.2 Clasificación botánica del trigo.**

Reino	Vegetal
División	Tracheophyta
Clase	Monocotiledónea
Orden	Glumiflorae
Familia	Gramínea
Tribu	Triticea
Genero	<i>Triticum</i>
Especie	<i>Aestivum</i>

**Raíz.** Suelen alcanzar más de un metro de profundidad, situándose la mayoría de ellas en los primeros 25 cm de suelo.

El crecimiento de las raíces comienza en el periodo de ahijado, estando todas ellas poco ramificadas. El desarrollo de las raíces se considera completo al final del "encañado".

En condiciones de secano la densidad de las raíces entre los 30-60 cm de profundidad es mayor, aunque en regadío el crecimiento de las raíces es mayor ya que corresponde a un mayor desarrollo de las plantas.

**Tallo.** Es hueco (caña), con 6 nudos. Su altura y solidez determinan la resistencia al encamado.

**Hojas.** Las hojas son cintiformes, paralelinervas y terminadas en punta.

**Inflorescencia.** Es una espiga compuesta de un tallo central de entrenudos cortos, llamado raquis, en cada uno de cuyos nudos se asienta una espiguilla, protegida por dos brácteas más o menos coriáceas o glumas, a ambos lados. Cada espiguilla

presenta nueve flores, de las cuales aborta la mayor parte, quedando dos, tres, cuatro y a veces hasta seis flores.

**Flor.** Consta de un pistilo y tres estambres. Está protegida por dos brácteas verdes o glumillas, de la cual la exterior se prolonga en una arista en los trigos barbados.

**Fruto.** Es una cariopsis con el pericarpo soldado al tegumento seminal. El endosperma contiene las sustancias de reserva, constituyendo la masa principal del grano (Ruiz, 1981).

### **Requerimientos Edafoclimáticos**

**Temperatura.** La temperatura ideal de crecimiento y desarrollo del cultivo es entre 10 y 24 °C, pero lo más importante es la cantidad de días que transcurren para alcanzar una cantidad de temperatura denominada integral térmica, que resulta de la acumulación de grados días.

La integral térmica del trigo es muy variable según la variedad de que se trate. Como ideal puede decirse que los trigos de otoño tienen una integral térmica comprendida entre los 1.850 y 2.375°C.

La temperatura no debe ser demasiado fría en invierno ni demasiado elevada en primavera ni durante la maduración. Si la cantidad total de lluvia caída durante el ciclo de cultivo ha sido escasa y es especialmente intensa en primavera, se puede producir el asurado.

**Humedad.** Se ha demostrado en años secos que un trigo puede desarrollarse bien con 300 ó 400 mm de lluvia, siempre que la distribución de esta lluvia sea escasa en invierno y abundante en primavera.

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

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

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

### **Ciclo vegetativo**

En el ciclo vegetativo del trigo se distinguen tres períodos:

- Período vegetativo, que comprende desde la siembra hasta el comienzo del encañado.
- Período de reproducción, desde el encañado hasta la terminación del espigado.
- Periodo de maduración, que comprende desde el final del espigado hasta el momento de la recolección.

### **Germinación**

El periodo de germinación y arraigo del trigo es muy importante para la futura cosecha del grano. El grano de trigo necesita para germinar humedad, temperatura adecuada y aire a su alrededor.

La temperatura óptima de germinación es de 20-25°C, pero puede germinar desde los 3-4°C hasta los 30-32°C. El aire es necesario para activar los procesos de oxidación, por tanto, la capa superficial del terreno debe estar mullida; la humedad del trigo no debe sobrepasar el 11%, cuando se sobrepasa este porcentaje de humedad la conservación del grano se hace difícil.

Una vez que se forman las raíces primarias, y algunas hojas verdes, la planta ya puede alimentarse por sí misma, al agotarse las reservas del grano, en este momento termina el periodo de germinación.

## **Ahijamiento**

El tallo del trigo es una caña (con nudos y entrenudos), cada nudo tiene una yema que origina una hoja. Cuando los entrenudos se alargan al crecer (encañado), se observa que cada hoja nace a distinta altura en nudos sucesivos. Que una sola planta puede tener incluso hijos, pero normalmente las plantas el alargamiento de los entrenudos ocurre en su parte baja, pero este crecimiento no se produce hasta más tarde, en la fase de encañado.

Pero durante un largo periodo, las zonas de los tallos que están en contacto con la tierra, crecen de otro modo dando lugar a raíces adventicias hacia abajo y nuevos tallos secundarios hacia arriba llamados "hijos"; el segundo nudo del trigo siempre se encuentra a uno o dos centímetros bajo el suelo, independientemente de la profundidad de siembra, este nudo se denomina "nudo de ahijamiento", pues en él es donde se forman los hijos. No existe un límite de ahijamiento definido, ya bien ahijadas tendrá hasta 20 hijos.

En trigos de regadío, especialmente de primavera, se suelen emplear trigos que ahíjen poco. El trigo ahíja más si las siembras son espaciadas, tempranas y manteniendo una humedad adecuada. Es conveniente que las variedades de otoño amacollen, pues resistirán mejor las heladas de invierno y los "hijos" de otoño darán mejores espigas que los de primavera, ya que disponen de mayor tiempo para desarrollarse.

El aporcado de las plantas favorece el ahijamiento pues al enterrar más nudos sirve para convertirlos en nudos de ahijamiento. Este es uno de los objetivos que se persigue con las binas y los gradeos dados al sembrado.

El poder de ahijamiento es un carácter varietal sobre todo, pero además influye el abonado nitrogenado, de la fecha de siembra y de la temperatura, que condiciona la duración del periodo de ahijamiento. Las variedades de trigo que ahíjan muy poco dan lugar a grandes producciones, y para compensar, esa falta de ahijamiento deben sembrarse con más cantidad de semilla.

El macollado comienza cuando el trigo tiene tres o cuatro hojas, si ocurre en otoño el nacimiento de "hijos" y el crecimiento de las hojas se paraliza con las bajas temperaturas, pero como la tierra sigue caliente varios días, las raíces siguen creciendo y profundizando si el terreno es penetrable; durante el frío del invierno se paraliza toda la actividad vegetativa, después del frío sigue amacollando el trigo, hasta que alcanzadas mayores temperaturas comienza a encañar.

En condiciones de secano conviene que las raíces estén bien desarrolladas y profundas, pues las capas superficiales se desecan con facilidad, para conseguirlo no consiste en sembrar profundo sino realizar labores y arados subsoladores.

### **Encañado**

Tiene lugar una vez que comienzan a elevarse las temperaturas, los nudos pierden la facultad de emitir hijos y comienzan a alargarse los entrenudos del tallo. El encañado consiste, por tanto, en el crecimiento del tallo por alargamiento de los entrenudos. La caña sigue alargándose durante el espigado y hasta el final de la madurez, alcanzando longitudes diferentes según las variedades. La altura del tallo no tiene relación con la producción de grano, pero sí con la de paja, que es mayor en variedades más altas. La caña no queda al descubierto todavía en esta fase, pues no sale de entre las hojas hasta el espigado. En esta fase queda rodeada por la vaina. El grosor de la caña varía según las variedades, siendo frecuente que las cañas gruesas se den en variedades de poco ahijamiento. Las variedades de caña gruesa no siempre son más resistentes al encame.

Durante la fase de encañado la planta sufre una gran actividad fisiológica que no finaliza hasta la madurez. La extracción de elementos nutritivos del suelo es muy elevada, sobre todo en nitrógeno. La extracción de agua del suelo empieza también a ser muy considerable. Cuando la espiga empieza a apuntar entre las hojas comienza la fase de "espigado". En este momento comienzan a ser peligrosas las heladas tardías de primavera.

Los estambres se secan, se caen y el ovario fecundado va creciendo, convirtiéndose en un grano de trigo verde, hinchado y lleno de un líquido lechoso, a partir de este momento comienza la madurez del trigo.

### **Espigado**

El periodo de "espigado" es el de máxima actividad fisiológica, con una transpiración y una extracción de humedad y alimentos del suelo que llegan al máximo. Los azúcares de las hojas inferiores van emigrando a los granos de trigo que se forman mientras las hojas se van secando. La cantidad de agua necesaria para transportar a los granos de trigo las sustancias de reserva, hace que las raíces dessequen la tierra con facilidad, por ello el riego en esta fase resulta muy importante.

### **Maduración**

El periodo de maduración comienza en la "madurez láctea" cuando las hojas inferiores ya están secas, pero las tres superiores y el resto de la planta está verde, seguidamente tiene lugar la "maduración pastosa", en la que sólo se mantiene verdes los nudos y el resto de la planta toma su color típico seco, tomando el grano su color definitivo. A los tres o cuatro días del estado pastoso llega el cereal a su "madurez completa". Por último se alcanza la "madurez de muerte", en el que toda la paja está dura y quebradiza; así como el grano, saltando muy fácilmente de las glumillas y raquis. La lentitud de "la muerte" del trigo es el principal factor para su buena granazón, por ello es imprescindible que las temperaturas sean suaves, pues si sobrevienen vientos secos o calor excesivo el grano de trigo se "asura", es decir, madura precipitadamente y no se acumulan en la semilla las sustancias de reserva que se necesitan para un adecuado grosor del grano.

## Particularidades del cultivo

### Preparación del terreno

El trigo requiere un terreno asentado, mullido, limpio de malas hierbas y bien desmenuzado. La naturaleza de las labores, el modo de ejecutarlas y la época oportuna para su realización, varía con el cultivo que precedió al trigo, con la naturaleza del suelo y con el clima.

Si anteriormente la tierra no ha sido cultivada, será necesario roturarla mucho antes de la siembra del trigo y seguir con un barbecho labrado de, al menos, un año. Una vez roturada la tierra (en primavera), se deja sin labrar hasta las primeras lluvias de otoño. Durante el invierno hasta mayo, por estar en tempero se darán tres o cuatro labores. La primera será más profunda, para permitir la penetración del agua en las capas inferiores del suelo; las otras serán siempre cruzadas con la anterior, siendo más superficiales. Antes de sembrar se hará un gradeo para deshacer los terrones. Si el trigo va después de una leguminosa, se realizará una labor profunda antes del verano, pues las leguminosas poseen las raíces gruesas, y éstas dejan huecos en el suelo que son muy perjudiciales para el trigo. Después bastará con una labor superficial y un gradeo antes de la siembra.

Si al trigo le precede un barbecho, antes de sembrar se realizará una labor superficial si el terreno es suelto o profunda si es compacto, seguida de un gradeo. De forma general, antes de la siembra, si el terreno es muy suelto conviene dar un pase de rodillo para comprimir el suelo y, después de la siembra, otro para que la tierra se adhiera bien a la semilla.

### Siembra

Época de siembra. Los trigos de invierno se siembran en otoño y exigen un período largo de bajas temperaturas (si se siembra en primavera no se desarrollan más que hasta el estado de ahijamiento) y se mantienen estéril. El trigo de verano se siembra en primavera o en otoño, sobre todo en zonas mediterráneas con inviernos suaves. El trigo sembrado en otoño da rendimientos superiores debido al largo periodo vegetativo, los avances en mejora genética de los trigos de invierno están adquiriendo cada vez mayor importancia. En las zonas más frías se recomienda una

fecha intermedia; ya que las muy tempranas exponen la cosecha a las heladas tardías, y las muy tardías, al peligro de las heladas de otoño, o invierno, y, más tarde, al asurado del grano por los vientos cálidos del verano.

Profundidad de siembra. La siembra debe realizarse en surcos separados a una distancia entre 15 y 20 cm. En general suele estar a 17cm, a una profundidad de siembra de 3-6 cm.

Únicamente se sembrará a mayor profundidad en los siguientes casos:

- En tierras muy sueltas, donde las semillas, una vez germinadas, puedan estar expuestas a la desecación.
- En siembras tardías, pues conviene proteger al trigo de las heladas.

Cuando la preparación del terreno no se realice de forma adecuada.

Densidad de siembra. Se emplea una densidad de 300-400 semillas/m<sup>2</sup> (de 100 a 130 kilos semillas/ha), con un mínimo de 80% de poder germinativo.

-Siembra mecanizada. Este método de siembra presenta diversas ventajas sobre la siembra a voleo o a chorrillo.

- Ahorro de semilla entre el 30-50%.
- Uniformidad en la distribución de los surcos.
- Establecimiento de la profundidad de siembra según las necesidades.
- Permite el laboreo entre líneas.

La siembra mecanizada requiere las siguientes condiciones:

- Parcelas de extensión suficiente.
- Terrenos de escasa pendiente.
- Buena preparación del terreno

## **Fertilización**

**Nitrógeno.** La absorción de nitrógeno depende de su disponibilidad en forma asimilable, como consecuencia puede dar lugar a una absorción excesiva, debido a condiciones adversas; como puede ser: la prolongación de la fase vegetativa,

retraso de la maduración, disminución de la resistencia al frío y al encamado y mayor sensibilidad a las enfermedades. Los mayores rendimientos se logran cuando se aporta una mayor cantidad de nitrógeno al comienzo del macollado o durante el mismo y una mayor cantidad durante el crecimiento de los tallos. El aporte de nitrógeno demasiado temprano produce un exceso de espigas de reducido tamaño y estériles. El abonado tardío por su parte reduce la fertilidad de las espigas. Se estima que para una cosecha de 1000 kilos de grano la extracción de nitrógeno es de 24-31 kilos. Las reservas de nitrógeno en trigos de invierno se estiman a finales de invierno y se suelen confirmar con exactitud por medio de análisis de nitrógeno; además el balance de nitrógeno en el suelo se ve afectado por las condiciones climatológicas en invierno, en particular por la temperatura en el horizonte más superior del suelo y por las precipitaciones.

**Fósforo.** Es adsorbido por la fracción coloidal del suelo y por ello debe ser aportado en cantidad suficiente al mismo. El fósforo favorece y anticipa la granazón y madurez de la semilla: una abundancia de fósforo puede anticipar, hasta una semana, la cosecha de trigo. Las cenizas del grano de trigo contienen el 50%. El fósforo endurece los tejidos dando más rigidez a la planta, mejorando la resistencia a las heladas, al encamado y al asurado; siendo además un elemento importante en la fecundación de la flor. La deficiencia de fósforo se manifiesta por la coloración purpúrea de las hojas y tallos.

**Potasio.** Interviene en la formación de almidón y en el desarrollo de las raíces. Reduce la transpiración, por lo que aumenta la resistencia a la sequía. Como contribuye a la formación de un buen sistema radicular, proporciona mayor resistencia al frío. La extracción de potasio es máxima durante el periodo del encañado.

La deficiencia en potasio se manifiesta por el crecimiento dislocado, los ápices amarillentos y la torsión de las hojas, además reduce la formación de almidón en el grano y una disminución en la superficie de las hojas.

**Azufre.** Se aporta al suelo de manera regular, bien como estiércol o en forma de sulfatos; pero el uso de abonado líquido reduce la cantidad de azufre aplicada al suelo.

**Calcio.** Es indispensable para el desarrollo del trigo, pues influye en la formación y madurez de los granos; aunque no influye tanto en la producción como el nitrógeno, fósforo y potasio. Se halla en mayor cantidad en las hojas y cañas que en el grano, su carencia es muy rara. Los síntomas de carencia son hojas amarillentas, secas y corchosas; y espigas pequeñas e incompletas.

**Magnesio.** Su carencia se manifiesta primero en las hojas viejas y se presenta solamente en suelos muy ligeros o pobres o debido a un exceso de potasio.

En el Cuadro 2.3 se muestra los abonos de uso frecuente para el trigo y su conveniencia en determinados tipos de suelos. Ramiro 2008.

**Cuadro 2.3 Tipo de abonos para trigo**

<b>TIPO DE ABONO</b>	<b>RIQUEZA (%)</b>	<b>CONVIENE EN SUELOS</b>
Superfosfato de cal	16-20	Neutros o alcalinos
Sulfato amónico	20-21	Neutros, alcalinos y salinos
Cianamida cálcica	20-22	Ácidos
Nitrato amónico cálcico	20-26	Neutros
Nitrato sódico	15-16	Ricos en cal y no salinos
Nitrato cálcico	15-16	Ácidos
Cloruro potásico	44-50	Ricos en cal

## **Riego**

En zonas secas y épocas cálidas se recomienda dar primero un riego copioso y seguidamente realizar una labor de arado, pues a continuación se realizará la siembra.

A veces en primavera, al arar se seca demasiado la tierra y es necesario dar un riego ligero antes de sembrar. Si se forma una costra superficial dar un pase con una grada de púas previa a la siembra.

Con el encañado comienza un periodo de intensa asimilación de agua y de sustancias nutritivas, por tanto es preciso que la tierra contenga bastante humedad en esta fase.

Durante el espigado es necesario aplicar otro riego. La planta está en plena actividad de asimilación y el agua es consumida rápidamente en esta fase. El último riego debe realizarse a los pocos días del anterior, en plena madurez láctea de las espigas o muy al principio de la madurez pastosa, ya que las plantas siguen consumiendo mucha agua, empleada principalmente en trasladar el almidón y demás reservas alimenticias desde las hojas al grano.

**Riego por surcos.** Para regar por este método se trazan surcos desde la cabecera, a unos diez centímetros de profundidad, en el sentido de la máxima pendiente, y poco distanciados entre sí (40-80 cm.). Por los surcos se hace correr el agua, de modo que esta avanza poco a poco y en el extremo se vierte a otra reguera que la vuelve a distribuir en otros surcos. Este método no es conveniente en terrenos sueltos y permeables, pues el agua desciende rápidamente y se extiende con gran lentitud horizontalmente, y cuando se llega a humedecer toda la superficie se han gastado grandes cantidades de agua.

**Riego por aspersión.** Es recomendable su uso en terrenos muy desnivelados empleando aspersores de medio o pequeño alcance y de gota fina, en lugar de los de gran alcance.

### **Variedades de trigo**

Debido a la diversidad de usos del trigo existe una gran diversidad de variedades, actualmente se comercializan variedades de paja corta y de alto rendimiento, así como variedades de verano e invierno, pero la resistencia al frío de esta última debe mejorarse.

Los trigos de invierno suelen cultivarse en las zonas templadas, y los de verano predominan en zonas con inviernos fríos (altas latitudes) o con inviernos demasiados suaves (bajas latitudes).

En general puede distinguirse tres variedades en función de su ciclo:

- Variedades de otoño o de ciclo largo.
- Variedades de primavera o de ciclo corto.
- Variedades alternativas.

La diferencia entre ellas se basa en la duración del periodo vegetativo. Las variedades de otoño y las de primavera se diferencian en la integral térmica, tomando como cifras medias las siguientes:

- Trigos de otoño: 1.900-2.400 °C.
- Trigos de primavera: 1.250-1.550 °C

### **Trigos de invierno y trigos de primavera**

Las variedades de trigo que se siembran en otoño, completan su ciclo vegetativo madurando al iniciarse el verano siguiente, debido a la falta de resistencia de las condiciones ambientales desfavorables durante este periodo. Las variedades sembradas en primavera, necesitan más de un año para madurar y son las llamadas "de invierno". La cualidad de los trigos invernales o primaverales es independiente de las demás cualidades de la variedad.

### **Trigos precoces y tardíos**

El empleo de trigos de ciclo largo o corto, no es indiferente para el buen éxito de la cosecha. Uno de los mecanismos más potentes de resistencia a la sequía es la precocidad de la variedad, que hace que ésta escape a la misma y a los calores del final del período de llenado del grano, aunque las variedades de ciclo más largo tienen un potencial productivo mayor. Durante el periodo de maduración, un adelanto, puede evitar daños de final de estación, además de permitir una

recolección temprana. La condición de precocidad de un trigo no implica el que sea sensible al frío, pues esta calidad aunque es constante para cada variedad, está influida por el fotoperiodo.

Debido a la importancia económica del trigo hexaploide ha sido muy estudiado en mejora genética. La poliploidía se identificó por el color rojo del grano determinado por tres factores heredados independientemente, con efectos acumulativos; además se estudió el efecto de compensación, por el cual los cromosomas que faltan en uno de los tres genomas pueden ser compensados por los cromosomas de otro genoma. Actualmente la selección por mutación es muy importante en las mejoras morfológicas, altura de la planta, robustez del tallo, resistencia a enfermedades, contenido del grano en proteínas y poder de cocción en la harina.

El rendimiento del cultivo del trigo a aumentado de manera exponencial a nivel mundial en los últimos años debido a la mejora genética de las variedades y a la mejora de las técnicas de manejo del cultivo. El rendimiento se basa en tres parámetros fundamentales como son: número de plantas por unidad de superficie, número de granos por planta y peso del grano, y cuyo producto daría como resultado el rendimiento final del cultivo.

El número de plantas por unidad de superficie se regula mediante la densidad de siembra siendo los otros dos parámetros regulables por la mejora genética, especialmente el número de granos por planta, éste no se ha obtenido aumentando el número de ahijamientos, sino a que las espigas de las nuevas variedades contienen más granos que las antiguas.

El aumento de biomasa de las nuevas variedades de trigo ha dado lugar a un aumento en el rendimiento de paja. El índice más utilizado para medir la eficacia de la planta para transformar la biomasa en grano es el índice de cosecha, que es la relación porcentual entre el peso del grano y el peso total de la planta. Este índice ha tenido un papel fundamental en la mejora de los rendimientos en trigo harinero.

Las sustancias que valoran la calidad del trigo son las proteínas que se encuentran en el complejo insoluble denominado gluten. La calidad del gluten es más importante que la cantidad, pero esta calidad no es fácilmente medible.

La riqueza de proteínas se mantiene constante en los últimos estados de maduración. En cambio, el incremento de glúcidos es continuo hasta la desecación del grano. La calidad es una condición de cada variedad, siendo comprobada experimentalmente cultivando un mismo grupo de variedades en distintas localidades. Está influenciado por el clima, pues la mejor calidad se obtiene en zonas áridas que en zonas húmedas.

### **Concepto de sequía**

Quizenberry, (1987) define a la sequía como cualquier periodo durante el cual las deficiencias de agua en el suelo afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas. Kramer (1980), menciona que la sequía es un estrés ambiental de suficiente duración para producir un déficit o estrés de agua en la planta, lo cual causa disturbios en los procesos fisiológicos.

Fischer *et al.* (1984), ve desde dos puntos la resistencia a la sequía. En el sentido agrícola; se refiere a la capacidad de una planta cultivada, para rendir su producto económico con agua disponible limitada. Visto desde un concepto evolutivo sería; la capacidad de una planta o especie para sobrevivir y eventualmente reproducirse bajo humedad limitada. Bravo *et al.* (2006), por su parte menciona, que la sequía agrícola, es de carácter estacional y se relaciona con la duración del desarrollo fenológico de los cultivos.

Y agrega, que la definición de sequía ha sido el objeto de numerosos estudios científicos, pero la diversidad de tipologías climáticas existentes sobre el planeta hace casi imposible utilizar el mismo umbral de déficit pluviométrico en dos lugares diferentes. Las variables que más se emplean para evaluar la sequía, solas o combinadas, son: precipitación, temperatura del aire, humedad del aire, evaporación en superficies libres, evapotranspiración, humedad del suelo, velocidad del viento y escorrentía

Valiente (2001), menciona que se produce cuando no hay suficiente humedad en el suelo para permitir el desarrollo de un determinado cultivo y en cualquiera de sus fases de crecimiento. por su parte (Alfonso, 2006) menciona la sequía, en términos genéricos, se define como una deficiencia de agua que depende de dos factores: las variaciones en el descenso del potencial hídrico en el ambiente y de las variaciones en el tiempo o duración de estos descensos.

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

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

Muñoz (1980), define a la sequía o deficiencia de agua es el factor ecológico que más limitan la producción de las cosechas. En nuestro país el 80 porciento de la superficie cultivada depende de la precipitación pluvial como única fuente de agua. Esta superficie se conoce como área de temporal. En el mundo ésta área representada una proporción del 75 porciento en lo que en este aspecto nuestra situación sea representativa de la mundial, y los trabajos al respecto tengan una trascendencia no solo nacional sino internacional.

### **Efectos que causa la sequía a las plantas**

Robledo *et al.* (1993), establecen que el déficit hídrico es uno de los factores que en mayor grado limitan la producción de los cultivos. El maíz aun cuando es uno de los cultivos más tolerantes a los déficit hídrico, también es afectado por estos de ahí

que año con año se presentan desde ligeros decrementos hasta pérdidas totales en la producción de grano, esto dependerá de la intensidad y la duración de la sequía y de la etapa fenológica del cultivo. Avendaño *et al.* (2008), en un estudio de respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz, encontraron que en variedades mejoradas, la sequía retrasó la floración masculina y femenina, además presentaron mayor asincronía floral.

Rojas (1978), marca los siguientes efectos por la falta de agua en la planta

- La fotosíntesis disminuye
- Falla de transporte
- La respiración de órganos de vida activa aumenta por sobre lo normal.
- La conjugación de alta respiración y baja fotosíntesis determinará un estado de
- Desnutrición si persiste cierto tiempo.
- La síntesis de proteína disminuye
- La cantidad de ácidos nucleicos disminuye
- El crecimiento de la planta se detiene es muy pobre, lento; en sí se ve reducido Aumenta la caída de frutos
- El rendimiento se reduce.

Rojas (1978), También menciona que la deficiencia de agua en la planta causa un estado patológico en general. Baja la fotosíntesis al cerrarse los estomas y por ausencia de CO<sub>2</sub>; también disminuye por disfunción de los cloroplastos que se desintegran causando clorosis; la respiración asciende temporalmente y luego se deprime; las enzimas se desnaturalizan, fallan las nitrato reductosas y luego cesa la síntesis de proteínas; el contenido de ácido abscísico se eleva y el de citocininas baja; la falta de turgencia hace cesar el crecimiento; la precocidad aumenta. Por otra parte, Limón *et al.* (2010), mencionan 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, sequía y otros insumos

### **Características de las plantas resistentes a sequía**

Daubenmire (1982), reporta las siguientes características de las plantas que crecen con un balance de agua desfavorable en comparación con las que crecen en condiciones óptimas de humedad.

#### ❖ Rasgos morfológicos

- Tamaño reducido del brote (enanismo)
- Incremento del sistema radical
- Células más pequeñas en las hojas las cuales a su vez causan:
- Láminas pequeñas y gruesas o láminas segmentadas
- Estomas menores y muy juntos entre sí
- Mas pelos por unidad de superficie si las hojas son pubescentes
- Cutícula y paredes gruesas con más lípidos en la superficie de la transpiración.

#### ❖ Rasgos fisiológicos

- Tasa de transpiración más rápida por unidad de área cuando la transpiración neta por planta puede disminuir.
- Tasa de fotosíntesis más rápida por unidad de área
- Menor potencial osmótico
- Menor viscosidad protoplásmica
- Mayor permeabilidad protoplásmica
- Mayor resistencia a la sequia
- Anticipación en el florecimiento y la producción de frutas
- Aumento del porcentaje de agua ligada por unidad de peso seco de los tejidos

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

Iturriaga (2010), señala que bajo la exposición a algún tipo de estrés, las plantas exhiben un amplio rango de mecanismos adaptativos moleculares y bioquímicos, estos comprenden cambios en la morfología y desarrollo, tales como la inhibición del crecimiento de la raíz. Poehlman *et al.* (2005), menciona que los daños que causa el estrés por sequía en maíz son más severos, si éstos ocurren durante la época de floración de las plantas, estos consisten en menor formación de semilla y más mazorcas sin granos. El estrés por sequía reduce el alargamiento de los estigmas, de modo que la expulsión de éstos podía no sincronizarse con la liberación del polen

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

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

Rajaram (1989), menciona que el daño causado por la sequía se manifiesta comúnmente mediante una secuencia de alteraciones fisiológicas que pueden incluir una tasa de crecimiento menor, el rizado de las hojas, la clorosis, la marchitez, la reducción de la fotosíntesis, la alteración de la respiración, la pérdida de la integridad celular, la necrosis localizada y por último, la muerte de la planta.

Griffiths (1985), encontró que bajo condiciones de sequía la cantidad de agua requerida para la transpiración y la evaporación directa excede al agua disponible en el suelo y si las condiciones no se equilibran mediante la aplicación de agua de riego, la planta comenzará a marchitarse hasta morir.

### **Efecto de la sequía sobre el crecimiento vegetal**

La pérdida de turgencia puede ocasionar que las hojas se marchiten reduciendo así la intercepción de luz y la fotosíntesis al cerrar los estomas, lo que su vez puede afectar no sólo el crecimiento de la parte aérea, sino también el de las raíces y su habilidad para transportar el agua y minerales del suelo. El efecto en la parte aérea es mayor como resultado hay un mayor desarrollo de la raíz. (Sharp y Davies, 1979).

Bolaños y Edmeades (1988), encontraron que si la sequía ocurre durante la etapa vegetativa del cultivo, el impacto principal es una reducción en el crecimiento foliar y la velocidad con la que el cultivo cubre el terreno. Debido a una menor intercepción acumulada de radiación solar, se puede esperar una baja en la producción de materia seca, y por lo tanto de rendimiento de grano si el índice de cosecha se mantiene constante.

### **La resistencia a la sequia**

Muñoz, (1980), afirmó que la evasión es la capacidad de una planta para sobrevivir bajo condiciones de sequía basándose en su habilidad para conservar niveles relativamente altos de potencial hídrico.

Por otra parte Muñoz (1980), afirma que con base en el modelo riego-Sequía la resistencia a la sequía puede definirse como la capacidad de una planta para reducir bajo sequía en función de su potencial genético medio y de la interacción de ese potencial con las variaciones de humedad. Esto indica que una variedad resistente a la sequía se debe seleccionar de acuerdo con el promedio (bajo ambas condiciones de humedad) y por la capacidad para reducir su producción en menor grado al pasar de la condición favorable a la desfavorable.

Quizenberry (1987), menciona que para el fitomejorador el término resistencia a la sequía está relacionado con un ambiente desfavorable por la falta de humedad y se refiere a la capacidad de un genotipo para ser más productivo que otro con una determinada cantidad de agua del suelo.

### **Criterios para la selección de plantas con resistencia a sequía**

Kuruvadi (1980), señaló varios métodos para clasificar variedades por su grado de resistencia a sequía: Evaluación de genotipo para rendimiento en el campo bajo temporal, medida de la tasa de fotosíntesis, densidad, tamaño, y comportamiento de los estomas, agua retenida en las hojas cortadas, medición de la temperatura de la hoja, potencial hídrico en los tejidos de la planta, porcentaje de germinación de semillas de diferente presión osmótica con manitol, evaluación del contenido de prolina, betaína, ácido abscísico, agua fisiológica, proteínas, azúcares y actividad de enzima, estudio del potencial y modelo del sistema radical, presencia de pubescencia de las hojas, área foliar y evaluación del factor de recuperación después de castigo de agua en diferentes etapas de la planta.

### **Métodos de selección de materiales tolerantes a sequía**

Rivera (1988), encontró en estudios sobre el efecto de la sequía en la germinación o crecimiento de plántulas en medio líquido, el potencial hídrico puede ser simulado al adicionar substratos osmóticos al agua. Así el suelo se descarta para eliminar las complicaciones inherentes al medio suelo-agua, con ello se elimina el componente mátrico, y el potencial hídrico total equivale al potencial osmótico de la solución.

Hunter *et al.* (1936), descubrieron un método para determinar la tolerancia a sequía en las líneas autofecundadas de maíz, sometiendo las plantas a altas temperaturas y bajas humedades, una buena correlación fue observada entre los daños producidos a las plántulas bajo condiciones controladas y los daños presentados por las líneas en el campo.

Por otra parte Muñoz (1980), encontró que para estudiar la resistencia a la sequía en plantas, se han empleado métodos diversos tanto en invernadero como en laboratorio; algunos se basan en índice como la tolerancia a la presión osmótica, a la marchites permanente y el calor, así como la estabilidad de la clorofila.

### **Método de campo**

Muñoz y Ortiz (1971), menciona que el método más utilizado es el riego-sequía, que consiste en buscar una localidad árida o semiárida con riego, en donde se puede variar a voluntad los regímenes de sequía y establecer las variedades a las que se les va a medir la resistencia (al menos en dos condiciones de humedad, sequía y riego), manteniendo el resto de condiciones o factores uniformes, de tal suerte que se pueda valorar la respuesta a la sequía, sin confundirse con otros factores que no sean la humedad

### **Métodos de campo**

Estos métodos son tardados porque hay que llevar la planta hasta el estado adulto y para la correcta aplicación de éstos hay que realizarlos en una región semiárida o en lugares con inviernos secos sin heladas; sin embargo, permiten evaluar el rendimiento lo que no sucede con los métodos de laboratorio o invernadero.

### **Métodos de laboratorio e invernadero**

Estos métodos son rápidos y algo económicos por aplicarse en plantas jóvenes y no están sujetas a lo aleatorio de las ocurrencias de los factores climáticos sin embargo, requieren de instalaciones adecuadas para controlar otros factores ajenos a la falta de agua, como luz y temperatura. Así como instrumentos, equipo y materiales de laboratorio y/o invernadero

### **Técnicas de identificación de materiales genéticos utilizando productos químicos**

Fabre *et al.* (2006), afirmó que el polietilenglicol (PEG) es un poliéter ampliamente empleado en la industria.

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

(2007) evaluaron el efecto del acondicionamiento osmótico sobre la calidad fisiológica de semillas de tomate de cascara, con esto se mejoró la calidad.

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

Bermúdez *et al.* (1984), en pruebas de germinación realizadas en el laboratorio con el polietilenglicol en sorgo, determinaron que es un buen agente osmótico para seleccionar plantas tolerantes a sequía.

Viqueira *et al.* (1981), ha señalado que los polietilenglicoles (PEGs) han sido ampliamente usados como agentes osmóticos, debido a que son químicamente inertes, no tóxicos aún en altas concentraciones, solubles en agua, estables e inactivos, simuladores de sequía y no penetran la cubierta de la semilla a altos pesos moleculares son compuestos fisiológicamente inertes, no iónicos y no provocan efectos secundarios en el metabolismo de las plantas.

Parmar y Moore (1996), realizaron estudios referentes a la tolerancia de sequía simulando el déficit mediante soluciones de polietilenglicol de (6, 8 y 10 atmósferas de presión osmótica), sobre la germinación y desarrollo de plántulas de Maíz, observaron en la reducción en la germinación y longitud de raíz primaria, encontrando apropiado el uso de sustratos osmóticos para simular sequía.

Castro *et al.* (2009), en el estudio morfo-fisiológico de brotes de maíz (*Zea mays* L.) 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.

Por su parte Méndez *et al.* (2010) menciona 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%.

## MATERIALES Y METODOS

### Localización del estudio

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de biotecnología-Cultivo “*In Vitro*” de Tejidos Vegetales perteneciente a la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” localizada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, situada geográficamente entre las coordenadas 101° Longitud Oeste y 25° 22’ Latitud Norte, a una altitud de 1742 m.s.n.m.

### Material genético

En esta investigación se utilizaron dos variedades y ocho líneas experimentales de trigo, proporcionadas por el Programa de Cereales de la UAAAN y producidas en el ciclo 2016-2017 en la localidad de Zaragoza, Coahuila . Los materiales se identificaron como se muestra en el Cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1 Relación de los diez genotipos de Trigo (*Triticum aestivum* L.) evaluados en condiciones de laboratorio.**

IDENTIFICACIÓN	MATERIAL GENÉTICO
1	Pelón colorado
2	Candeal
3	AN-343-09
4	AN-344-09
5	AN-350-09
6	AN-360-09
7	A N-361-09
8	AN-366-09
9	AN-373-09
10	AN-394-09

### Tratamientos

Se empleó el polietilenglicol (PEG) para inducir el estrés hídrico, se utilizaron tres tratamientos con cuatro repeticiones, los tratamientos aplicados fueron: 0.5 bares, 1.0 bares, 1.5 bares y un testigo absoluto, como se muestra en el Cuadro 3.2 siguiente.

**Cuadro 3.2 Identificación de los tratamientos aplicados a los diez genotipos estudiados.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Concentración (Bares)</b>
<b>T1</b>	0.5
<b>T2</b>	1.0
<b>T3</b>	1.5
<b>T4</b>	Testigo

#### **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 como indica 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/200ml)</b>
<b>0.5</b>	10.33
<b>1.0</b>	20.66
<b>1.5</b>	31

#### **Metodología**

Se realizaron cuatro repeticiones por cada material genético y tratamiento, colocando 25 semillas sobre un papel germinación “Anchor” , humedecido con la concentración de PEG-8000 correspondiente a cada tratamiento, cubriendo con otro papel y enrollando ambos a formar un “taco” por cada repetición, siendo identificados por número de repetición y tratamiento, posteriormente se colocaron en bolsas de polietileno con capacidad de un kilogramo; luego fueron llevados a una cámara germinadora marca lumistell a  $25 \pm 1$  °C con 8 horas de luz y 16 horas de oscuridad durante 10 días.

Se realizó un conteo diario de la emergencia de plántula y a los cuatro días se evaluó un Primer Conteo (PC) considerando el número de plántulas normales y reportando en porcentaje, consideradas ambas pruebas como vigor.

A los 10 días se realizó un segundo conteo o conteo final, determinando el número de Plántulas Normales (PN) y además, evaluando Plántulas Anormales (PA). Semilla sin Germinar (SSG) registrando los resultados en porcentaje; así como el contenido de auxinas en raíz de las plántulas normales resultantes.

### **Variables evaluadas**

#### **Índice de Velocidad de Emergencia (IVE)**

Se siembra en forma convencional ya sea en cajas petri con papel filtro (sobre papel) o en suelo. Para la evaluación, se tomaron en cuenta las plántulas emergidas por día a completar los días totales de la prueba de germinación.

$$IVE = \Sigma \frac{No. Plántulas}{Día} + \dots \frac{No. Plántulas}{Día}$$

### **Capacidad de germinación**

En la prueba de germinación se realizó conforme a las reglas internacionales ISTA (2010) y la evaluación de Plántulas conforme a las AOSA (1992).

#### **Porcentaje de Plántulas Normales (PN)**

Se consideraron plántulas normales aquellas que obtuvieron sus estructuras esenciales, bajo condiciones de agua, luz y temperatura; registrando el dato en porcentaje.

Aquellas que presentaron ligeros defectos en las estructuras anteriores o cierto retardo, sin que esto limite su crecimiento y desarrollo y revelaron un desarrollo vigoroso y balanceado.

- Plántulas con daño superficial o deterioro en el epicotilo, siempre y cuando el daño no afecto los tejidos conductores.

Aquellas que estuvieron invadidas o dañadas por hongos y bacterias, siempre y cuando fuera evidente que la fuente de infección no es la semilla, y que presentaron las estructuras esenciales.

### **Número de Plántulas Anormales (PA)**

Las que no se pudieron ser clasificadas como normales por tener alguna deficiencia en desarrollo de sus estructuras esenciales, impidiendo su desarrollo normal en condiciones favorables de agua, luz y temperatura; registrando el datos en porcentaje.

Plántulas deformes, con desarrollo débil o desequilibrado de las estructuras primordiales: plúmulas retorcidas en espiral; plúmulas; talluelos hinchados y raíces sin desarrollo; plúmulas hendidas o coleóptilos sin hojas verdes.

Plántulas con estructuras esenciales deterioradas por hongos o bacterias, excepto en el caso que se determine que dicha infección no proviene de la semilla.

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

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

Semillas latentes. Se denominan así las semilla viables (diferentes de las semillas duras) que no germinan aún cuando estén bajo las condiciones que se especifican para dicha especie. Se debe registrar en porcentaje de semillas latentes.

Semillas muertas. Son aquellas que no germinan y no muestran ningún signo de desarrollo y comúnmente están flácidas, decoloradas y con presencia de hongos. Se debe registrar en porcentaje de semillas muertas.

## **Vigor**

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

Se trazan cinco líneas paralelas de 2 cm marcadas desde el eje de 30 cm del papel y a partir de la parte media hacia arriba.

En la línea central se colocaron una cinta adhesiva de doble pegamento las 25 semillas de cada repetición del tratamiento y genotipo, a un cm de separación quedando en su parte media sobre la línea central y orientadas para su crecimiento.

Se enrollaron a un diámetro de 4 cm, colocando los tacos en posición vertical en la cámara de germinación a  $25 \pm 1$  °C sin luz. Evitando que la humedad de los tacos se seque, mediante alta humedad en la cámara o riego.

Se dejaron por 10 días el ensayo o más asegurando que las plántulas de semillas vigorosas alcancen 10 cm de longitud.

Al final del ensayo se contaron el número de plúmulas situadas en cada paralela. A las líneas se les asignó un valor de 1, 3, 5, 7, 9, 11 y 13 cm valor del punto medio de cada paralela a la línea central.

El número de plúmula que queda en cada línea se multiplicó por la correspondiente distancia y se suma, dividió la longitud total entre el número de semillas (25), como sigue:

$$LMP = \frac{(nx1 + nx3 + \dots nx13)}{25}$$

Donde:

LMP = Longitud media de plúmula en cm.

n = Número de plúmulas entre dos paralelas.

x = Distancia del punto medio de paralelas a línea central.

Las plántulas clasificadas como anormales se excluyen del conteo.

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

Esta variable se determinó nuevamente de las plántulas normales resultantes de la prueba de capacidad de germinación a los 10 días después de la siembra, midiendo la raíz de cada plántula normal de cada repetición, tratamiento, con ayuda de una regla graduada, promediando la longitud resultante de cada repetición y registrando los datos en centímetros.

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

Al final de la prueba de capacidad de germinación se evalúan las plántulas descartando anormales, las plántulas normales se llevan a secado por 24 horas a 80 °C, después de eliminar la semilla. Después del secado se obtuvo en mg el peso seco total de las plántulas normales por repetición y se dividió entre el número de plántulas incluido, reportando en mg/plántula el resultado.

### **Contenido de Auxinas**

La prueba se realizó, sembrando 25 semillas por repetición de cada genotipo sobre un papel germinación "Anchor", humedecido con la concentración de PEG-8000 correspondiente a cada tratamiento, cubriendo con otro, enrollando ambos a formar un "taco" por cada repetición, siendo identificados por número de repetición y material, colocados en bolsas de plástico de 1 kilogramo y posteriormente llevados a una cámara germinadora marca lumistell a 25°C con 8 horas de luz y 16 horas de oscuridad durante 10 días; transcurriendo el tiempo, las plántulas que se obtuvieron se les corta la radícula. La cantidad que se utilizó un gramo por repeticiones de cada tratamiento; se pesó para asegurar que se tuviera el gramo en la balanza analítica, y posteriormente se llevo al refrigerador previamente etiquetado.

Después se prosiguió a moler las muestras en mortero con 4 mL de agua destilada estéril, por tratamiento y sus repeticiones. Se filtró la muestra obteniendo 1 mL y colocando el extracto en tubos eppendorf, donde se conservara en refrigeración previamente etiquetados.

Para cuantificar la cantidad de auxinas presentes en la radícula, se tomó 1ml del extracto (por cada tratamiento y repetición) y 2 mL del reactivo Salkowsky (Brick *et al.*,1990), con ayuda de una micro pipeta de 500 µL y colocados en una celdilla de vidrio para la lectura en el espectrofotómetro serie Biomate 3; en el testigo se utilizaron 3 mL de reactivo Salkowsky para su lectura. Los resultados fueron expresados en mg/mL.

## Diseño Experimental y Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Los datos obtenidos se analizaron con el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS, 1989) como un factorial en arreglo completamente al azar, ya que el diseño experimental trabaja bajo el modelo siguiente:

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

Donde

$Y_{ijk}$ = Variable observada

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

$E_i$ = Efecto de la  $i$ -ésimo genotipo

$P_j$ = efecto del  $j$ -ésimo tratamiento (presión osmótica)

$EP_{ij}$ = Efecto de la interacción de la  $i$ -ésimo genotipo con el  $j$ -ésimo tratamiento (presión osmótica)

$E_{ijk}$ = Error experimental.

### Comparación de medias

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

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

Donde:

CMEE= Cuadro medio de error

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

$\alpha$ = Nivel de significancia

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

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

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizados los análisis estadísticos de las variables, se describen a continuación los resultados encontrados por cada variable:

### Índice de velocidad de emergencia

En el análisis de varianza (ANVA) para la variable índice de velocidad de emergencia, se obtuvo una alta diferencia significativa entre las Fuentes de Variación (FV) genotipos y tratamientos, así como en la interacción genotipo por tratamiento (Cuadro 4.1); lo que indica que al menos uno de los genotipos y uno de los tratamientos fue diferente a los demás en cada uno de los casos, lo cual se reflejó también en la interacción, generando en esta variable un coeficiente de variación de 5.02%.

**Cuadro 4.1 Cuadrados medios y nivel de significancia en la prueba de índice de velocidad de emergencia**

Fuente de variación	Grados de Libertad	Cuadrado medio
Genotipos	9	13.018 **
Tratamientos	3	1996.882**
Genotipos x Tratamientos	27	8.882**
Error Experimental	120	3.02
Coeficiente de Variación (%)		5.05

\*\* =Nivel de significancia (0.01 %), CV = Porcentaje del Coeficiente de variación.

Con respecto a los resultados de prueba de comparación de las medias entre los tratamientos, se obtuvieron cuatro grupos estadísticos como lo muestra el Cuadro 4.2, siendo el tratamiento 1 con el mayor índice 44.02 plántulas por día, seguido por el tratamiento 4 con 35.40 plántulas por día, después el tratamiento 3 con 29.87 plántulas por día, y por último el tratamiento 2 con 28.43 plántulas por día.

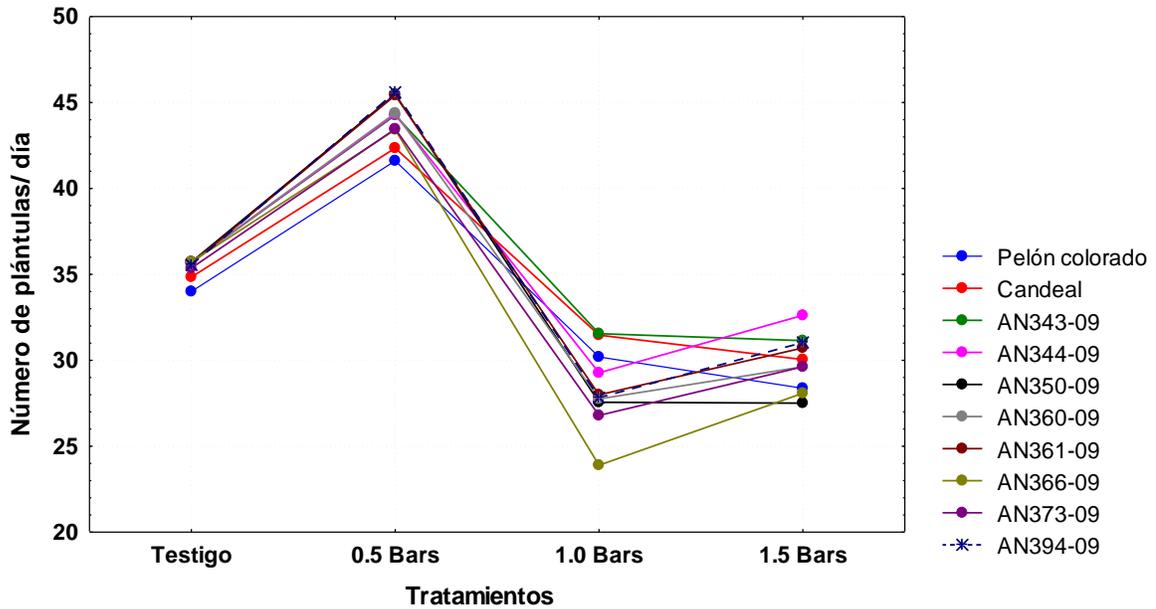
**Cuadro 4.2 Resultados de la prueba de comparación de medias entre tratamientos y entre genotipos en la prueba de índice de velocidad de emergencia.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Media</b>
T1	35.40 b
T2	44.02 a
T3	28.43 d
T4	29.87 c
<b>Genotipo</b>	<b>Media</b>
1	33.54 d e
2	34.67 a b c d
3	35.67 a
4	35.47 a b
5	34.06 b c d
6	34.37 b c d
7	34.94 a b c
8	32.78 e
9	33.81 c d e
10	35.00 a b c

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (P<0,01)

Así mismo, en la prueba de comparación de medias entre los genotipos estudiados en la misma variable (Cuadro 4.2), resultaron cinco grupos estadísticos, donde en el primer grupo se localizó el genotipo AN-343-09 con el valor índice 35.67 plántulas/día, seguidos por los genotipos 4, 10, 7 y el testigo Candeal en el mismo grupo estadístico desde 35.47 a 34.67 plántulas/día como se muestra en el mismo Cuadro 4.2; así mismo, este testigo formó parte de los siguientes grupos, destacando que el grupo estadístico D se formó por los genotipos 6, 5, 9 y el testigo Pelón colorado; y en el último grupo estadístico E, se encontró al genotipo 8 con el menor índice siendo de 32.78 plántulas/día.

En la interacción tratamientos por genotipos, se encontró que el tratamiento 1 a 0.5 bares, sobresalieron los genotipos AN-363-09, AN-361-09 y AN-350-09 obtuvieron un alto índice de 45.50 plántulas/día como se muestra en la Figura 4.1; mientras que el Pelón colorado y Candeal, resultaron con el menor índice de 41.50 y 42.30 plántulas por día cada uno.



**Figura 4.1 Respuesta de la interacción de genotipos de trigo por tratamiento en la variable IVE en condiciones de laboratorio, 2018.**

En cuanto al tratamiento de 2 (1.0 Bares), sobresalió el genotipo AN-343-09 con un índice de 32.50 plántulas por día y el genotipo de menor índice fue AN-366-09 con un 23.90 plántulas por día, como se observa en la Figura 4.1.

Mientras que, en el tratamiento 3 (1.5 bares), el valor más alto fue el genotipo AN-344-09 con un valor de 32.60 plántulas por día, seguido del genotipo AN-343-09 con 31.50 plántulas por día y el menor, el genotipo AN-350-09 con un valor de 27.40 plántulas por día (Figura 4.1), lo cual indica que en estas condiciones, AN-344-09 tuvo la capacidad de emerger en menos días, además de ser un genotipo propiamente tolerante a esta característica de sequía, además de coincidir con la afirmación de la FAO (2011), en que la velocidad de emergencia depende del vigor de las semillas por lo tanto se puede considerar al genotipo como vigoroso. Así mismo, Fernández, R. y Caballero, A. (2015) menciona que la velocidad de emergencia se ve influenciada generalmente por la variedad de la semilla.

Con respecto al tratamiento testigo, como se muestra en la misma Figura 4.1, el genotipo AN-366-09 obtuvo un alto índice de 35.90 plántulas por día que el resto de los genotipos estudiados; mientras que el Pelón colorado y Candeal, fueron los que

presentaron menor emergencia con 34.00 y 34.90 plántulas por día; lo cual indica que el vigor de la semilla de estos materiales fue bajo.

### Capacidad de germinación

#### Plántulas normales

El análisis de varianza (ANVA) para la variable plántulas normales, mostro una diferencia altamente significativa entre las fuentes de variación (FV) genotipos y tratamientos, asimismo como en la interacción entre genotipo y tratamiento, (Cuadro 4.3); lo cual indico que al menos uno de los genotipos y uno de los tratamientos tuvieron una respuesta diferentes a los demás casos, con una influencia de interacción, también en el (ANVA) se observó una diferencia significativa entre las repeticiones, resultando con un coeficiente de variación de 9.24%.

**Cuadro 4.3 Cuadrados medios y nivel de significancia en la prueba de capacidad de germinación en las variables plántulas normales, anormales y semillas sin germinar.**

Fuente de variación	Grados de Libertad	Plántulas Normales	Plántulas Anormales	Semillas sin Germinar
Genotipos	9	461.333**	512.100**	20.055**
Tratamientos	3	18213.466**	17663.300**	36.633**
Geno x Trat	27	217.096**	227.151**	6.188*
Error Exp	120	52.733	48.37	7.10
% CV		9.16	37.04	142.11

\*\* =Nivel de significancia (0.01 %), \* =Nivel de significancia (0.05 %), CV = Porcentaje del Coeficiente de variación.

La prueba de comparación de media entre los tratamientos aplicados, se obtuvieron tres grupos estadísticos como se observa en el Cuadro 4.4, donde se encontró que el tratamiento 4 y 1; con los mayores valores de germinación tienen el 94.2 y 91.0 % respectivamente; lo que indica que una concentración baja de PEG (0.5 Bares), presento una respuesta similar que el testigo, siendo el tratamiento 4 (testigo), numericamente con mayor porcentaje de germinación; sin embargo, a concentraciones menores (1.0 Bares) como fue el tratamiento 2, redujo la

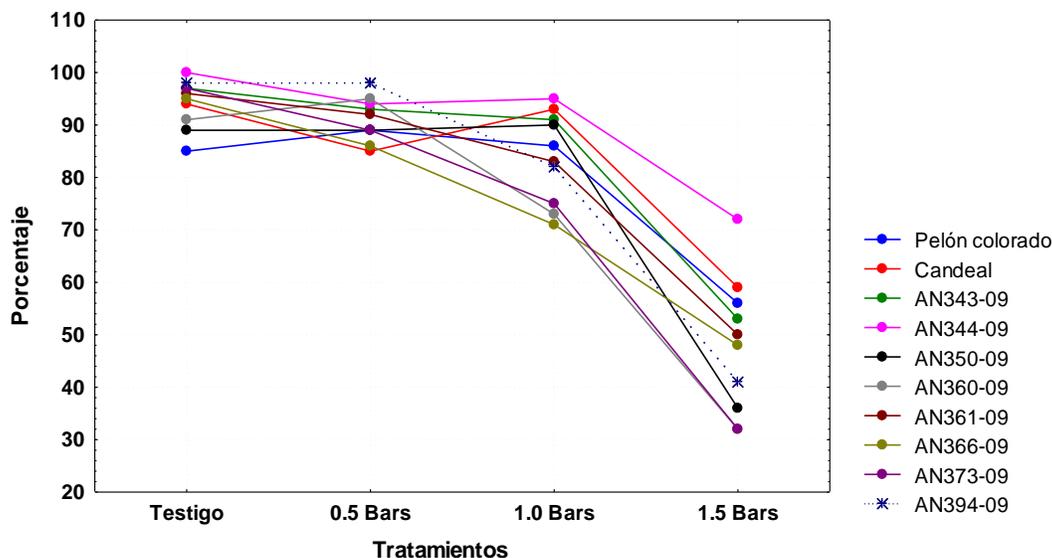
germinación hasta 83.9 %, y a concentraciones altas tiende afectar la germinación como fue el tratamiento 3 de 47.9 %.

**Cuadro 4.4 Resultados de la prueba de comparación de medias entre tratamientos y genotipos en la prueba de capacidad de germinación.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Media PN</b>	<b>Media PA</b>	<b>Media SSG</b>
1	94.20 a	5.10 c	0.80 c
2	91.00 a	5.70 c	3.10 a
3	83.90 b	14.70 b	1.60 b c
4	47.90 c	49.60 a	2.00 a b
<b>Genotipo</b>	<b>Media PN</b>	<b>Media PA</b>	<b>Media SSG</b>
1	79.00 b c d	15.75 c d	3.75 a
2	82.75 b	13.50 d	4.00 a
3	83.50 b	15.25 c d	1.25 b
4	90.25 a	8.50 e	1.25 b
5	76.00 c d e	22.75 a b	0.75 b
6	72.75 e	26.50 a	1.50 b
7	80.25 b c	18.50 b c	1.25 b
8	75.00 d e	23.75 a	1.25 b
9	73.25 e	24.50 a	2.25 a b
10	79.75 b c d	18.75 b c	1.50 b

PN= % Plántulas normales; PA= % Plántulas anormales; SSG= % Semillas sin germinar. Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (P<0,01)

Con respecto a la prueba de comparación de medias de la variable de plántulas normales, se encontraron cinco grupos estadísticos diferentes, el primer grupo está el genotipo 4 con el valor 90.25%, considerada la mejor respuesta de germinación, seguidos del grupo B a los genotipos 3, 2, 7, 10 y 1 con germinaciones desde 83.5 a 79.0%, como se muestra en el Cuadro 4.4; encontrando a los testigos formando parte de este grupo estadístico; mientras que en el último grupo estadístico E, se encontraron a los genotipos 9 y 6 con los más bajos porcentajes de germinación con 73.3 y 72.8 % respectivamente, pero estadísticamente iguales a los genotipos 5 y 8.



**Figura 4.2 Respuesta de la interacción de genotipos de trigo por tratamiento en la variable Plántulas Normales en condiciones de laboratorio, 2018.**

La interacción genotipos por tratamientos, se encontró que en el tratamiento 1 (0.5 bares) con porcentaje mayor, sobresaliendo el genotipo AN-394-09 con 98.00% seguido del genotipo AN-360-09 con 95.00% como se observa en la Figura 4.2; es de mencionar que todos los materiales estudiados superaron el porcentaje permitido para su comercialización de semillas según el SNICS; sin embargo, el testigo Candeal, resultó con el límite del porcentaje permitido con 85.00 %, siendo el de menor capacidad de germinación en este mismo tratamiento.

En cuanto la respuesta de la interacción al tratamiento de 1.0 bar dada en la Figura 4.2, sobresalió el genotipo AN-344-09 con un 95.00% de germinación, seguido del testigo Candeal con 93.00% de germinación, los que refleja que este tratamiento favoreció la capacidad de germinación en plántulas normales de estos materiales genéticos. En cambio el genotipo AN-366-09, fue afectado en su germinación con 70.05%, mientras el resto de los genotipos presentaron germinación desde 71 hasta 90 % en plántulas normales.

Los genotipos estudiados se comportaron de manera diferente en el tratamiento 3 (1.5 bares), encontrando a AN-344-09, con la mejor respuesta en el porcentaje de germinación con 71 % (Figura 4.2), estos resultados no permitieron identificar a los genotipos AN-373-09 y AN-366-09 con 32 %, ya que a mayor presión osmótica, se

esperaba menor capacidad de germinación, como lo menciona Méndez y colaboradores (2010); por lo que el genotipo AN-344-09 sobresale por su característica de tolerancia a sequía; seguido del testigo Candeal con 58% , mientras que los genotipos AN-360-09 y AN-373-09 resultaron afectados por el tratamiento por obtener el menor porcentaje de germinación con 31 % en ambos genotipos.

Con respecto a la interacción de los genotipos por tratamiento 4 (testigo con agua), el genotipo AN-344-09 fue quien tuvo la mejor respuesta en la germinación con 100 %, seguido del genotipo AN-394-09 con 98%, el de menor porcentaje fue el genotipo Pelón colorado siendo un genotipo testigo con un 85 % de plántulas normales; indicando que todos los materiales genéticos estudiados iniciaron con una alta germinación, el efecto de los tratamientos fue reflejado en los porcentajes encontrados en cada presión osmótica.

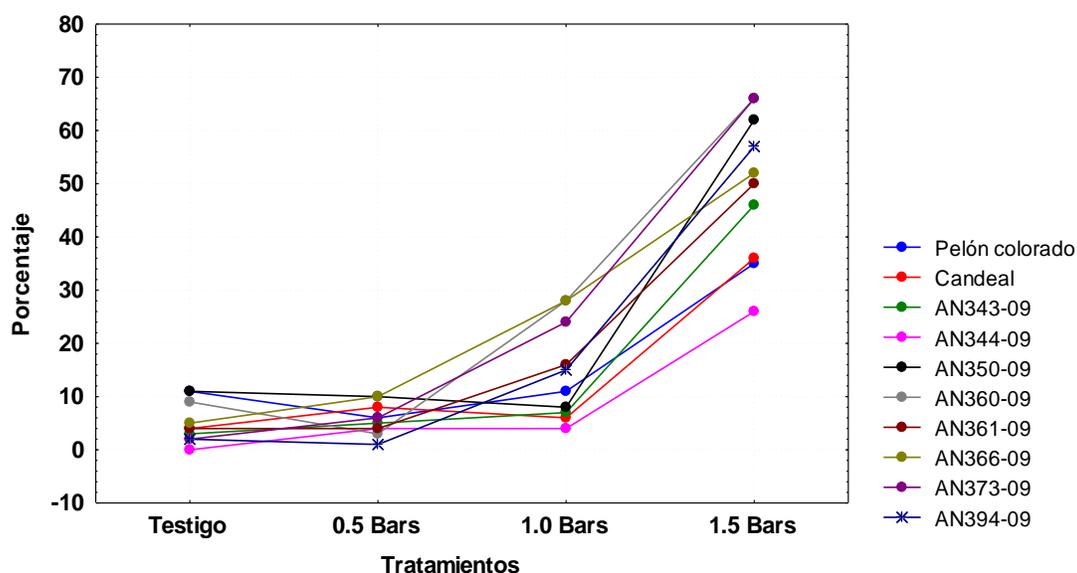
### **Plántulas anormales**

El análisis de varianza (ANVA) para esta variable, mostró que existe una diferencia altamente significativa entre las fuentes de variación genotipos y tratamientos como señala en Cuadro 4.3, así como en la interacción genotipo tratamiento, lo cual indica que al menos unos de los genotipos y tratamientos presentaron respuestas diferentes en los porcentajes; así mismo, en la interacción se encontró diferencia significativa, con CV de 36.99%.

La prueba de comparación de media de los tratamientos, se obtuvieron tres grupos estadísticos como se observa en el Cuadro 4.4, encontrando que el tratamiento 3 obtuvo los mayores valores de anormalidades con 49.6 %, indicando que la concentración más alta de PEG, provoca anormalidades en la plántula, pero conforme disminuye la concentración el efecto negativo es menor, como fue el tratamiento 2 con 14.7 %, y por último los tratamientos 1 y 4 obtuvieron los porcentajes más bajos de anormalidades con 5.7 y 5.1 %, lo que era de esperarse por los resultados de germinación de estos tratamientos.

En la comparación de medias de la variable plantas anormales entre genotipos, se obtuvieron cinco grupos estadísticos diferentes, donde en el primer grupo, se

encontró al genotipo 6 con el valor de 26.50 % (Cuadro 4.4), seguidos los genotipos 9, 8 y 5 en el mismo grupo con valores de anormalidades de 24.5, 23.8 y 22.8% respectivamente; en el grupo B, se encontraron los genotipos 10 y 7 con anormalidades de 18.75 y 18.50%; mientras que los testigo Pelón colorado y Candeal, tuvieron una respuesta similar por estar en el grupo estadístico D, con un porcentaje de anormalidades de 13.5; y por último el genotipo 4 sobresalió por presentar el menor valor de anormalidades, estando en el grupo estadístico E con 8.50%.



**Figura 4.3 Respuesta de la interacción de genotipos de trigo por tratamiento en la variable Plántulas Anormales en condiciones de laboratorio, 2018.**

El comportamiento de los genotipos al tratamiento 1 (0.5 bares) fue de manera muy similar al tratamiento 1 (testigo) pues la mayoría estuvo dentro del mismo rango de porcentaje, que como era de esperarse el genotipo AN-344-09, obtuvo el más bajo porcentaje como se observa en la Figura 4.3, en cambio, los genotipos más afectados fueron AN-350-09 y testigo Pelón colorado por obtener el menor porcentaje de anormalidades con 11%.

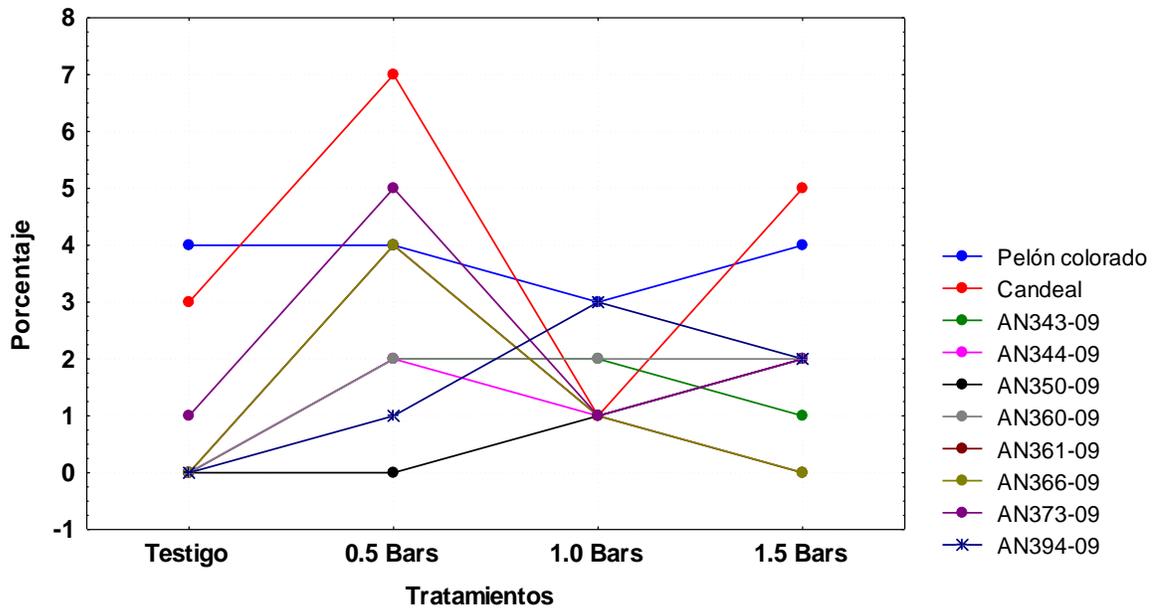
Para la interacción de los genotipos con el tratamiento 2 (1.0 bar), el genotipo de menor porcentaje fue AN-344-09 con un 1 %, en cambio los genotipos mas afectados son AN-360-09 y AN-366-09 con 27.90 % ambos.

Las semillas sometidas al tratamiento 3 (1.5 bares), el menor porcentaje fue el genotipo AN-344-09 con 25 %, lo cual los genotipos AN-360-09 y AN-373-09 fueron los más afectados con un 65 %. Con respecto a la interacción de los genotipos por tratamiento 4 (testigo con agua), el genotipo AN-344-09 obtuvo el menor porcentaje con 0 % de plántulas anormales, en cambio los genotipos más afectados AN-350-09 y el testigo Pelón colorado con 11 %.

### **Semillas sin germinar**

En la variable semillas sin germinar, los resultados del análisis de varianza (ANVA) que se muestran en el Cuadro 4.3, indicaron una diferencia altamente significativa entre las fuentes de variación (FV) genotipos y tratamientos, lo que indica que al menos uno de los genotipos y uno de tratamientos tuvieron una respuesta diferente a los demás casos, en el ANVA se obtuvo una diferencia significativa en la interacción entre genotipo y tratamiento, con un coeficiente de variación de 141.37%

Con respecto a la prueba de comparación de medias entre los tratamientos, se obtuvieron tres grupos estadísticos, el tratamiento 1 obtuvo los mayores valores con 3.10% donde se usó la concentración más baja de PEG como se observa en el Cuadro 4.4, seguido por los tratamientos 3 y 2 con 2.00% y 1.60%, y finalmente el testigo con el porcentaje más bajo de 0.80% de la variable. Mientras que en la prueba de comparación de medias entre los genotipos estudiados dado en el mismo cuadro, se encontraron 2 grupos estadísticos diferentes, en el primer grupo se localizó el genotipo 2 con el mayor valor de índice 4.00%, seguidos de los genotipos 1 y 9 con valores de índice de 3.75% y 2.25% respectivamente, donde los testigos están en este grupo estadístico, en el último grupo B están los genotipos 6, 10, 3, 7, 4, 8 y 5 desde 1.50% hasta 0.75%.



**Figura 4.4 Respuesta de la interacción de genotipos de trigo por tratamiento en la variable Semillas Sin Germinar en condiciones de laboratorio, 2018.**

En la interacción tratamientos por genotipos, en el tratamiento 1 (0.5 bares), el genotipo AN-350-09 no presentó porcentajes, en cambio el genotipo testigo Candeal resultó con el mayor porcentaje con 7% de SSG, mostrando que es un material de baja calidad; sin embargo, por ser un cereal de invierno posiblemente le faltaron horas frío por esa razón podría tener baja germinación y presentar mayor número de semillas sin germinar; mientras que los genotipos restantes no superaron el 5 % tal y como se aprecia en la Figura 4.4

Con respecto al tratamiento 2 (1.0 bar), el genotipo AN-373-09 fue el de menor valor con 1 %. En cambio el genotipo AN-394-09 y el testigo Pelón colorado quienes resultaron más afectados de semillas sin germinar con 3 %.

En el tratamiento 3 (1.5 bares), el genotipo AN-360-09 no tuvo SSG. En cuanto los testigos Candeal y Pelón Colorado fueron los más afectados en semillas sin germinar con 5% y 4 % respectivamente.

Por último, el tratamiento 4 (testigo con agua), el genotipo AN-373-09 y los testigos Pelón colorado y Candeal fueron los de mayor porcentaje de SSG con 1, 3 y 4 %

respectivamente, los genotipos restantes no presentaron semillas sin germinar, como se muestra en la Figura 4.4.

La significancia obtenida entre genotipo-tratamiento están ligados al proceso germinativo derivado de las variedades de trigo analizados (Fernández y Cabellero, 2015), además cabe decir que aunque el tratamiento 1 (0.5 bares) fue el que mayor número de plántulas normales y se puede considerar como uno de los más factibles para la utilización a campo abierto bajo condiciones de sequía pero solo se puede aplicar en el genotipo AN-344-09, por lo tanto si sería viable pues las opciones son los genotipos y los tratamientos utilizados tratan de simular el efecto de la sequía, Sin embargo, el estrés medioambiental depende de tres grupos físicos, químicos y biológicos, por lo cual el genotipo que se encuentre sometido a este tipo de estrés deberá tener una mejor producción bajo las condiciones del tratamiento, considerando el tipo de suelo y las condiciones medioambientales una semilla debe cumplir con tres objetivos relacionados entre sí que son la vida de almacenamiento, la emergencia en campo después de la siembra y predecir el vigor de las plántulas además del rendimiento (Layne y Méndez, 2008) por lo anterior se considera que el tratamiento 2 (1.0 bar) es más factible bajo condiciones de déficit hídrico puesto que tiene un mayor rango de variedades que soportan estas condiciones y genera diferentes alternativas de elección de semilla para los productores de trigo en la región.

Además, cabe señalar que los tratamientos 1 y 2 (0.5 y 1.0 bares) son una mejor alternativa para cumplir con los objetivos de la germinación sobre las variedades de trigo, ya que presentan una mejor tolerancia a este tipo de tratamientos y una menor deficiencia en cuanto a plántulas anormales o semillas sin germinar, que por otra parte el tratamiento 3 a pesar de tener un rango más amplio en cuestión de déficit hídrico es más susceptible a pérdidas y ningún genotipo se adapta ya que el porcentaje más alto es 70 % a estas condiciones por lo tanto al exponer los genotipos a este tratamiento genera pérdidas, ya que los efectos principales del ambiente sobre los caracteres de un genotipo tales como el ciclo de crecimiento y rendimiento se pueden ver mermados, pero la tolerancia a estrés por déficit hídrico

depende de una combinación de efectos de múltiples caracteres morfológicos y fisiológicos (Rodríguez, 2001).

### Prueba de vigor mediante longitud media de plúmula

En la variable longitud media de plúmula, el análisis de variación (ANVA), mostró una diferencia altamente significativa entre las fuentes de variación genotipos, tratamientos y interacción genotipo por tratamientos, como lo indica el Cuadro 4.5; resultando un Coeficiente de Variación de 11.73%.

**Cuadro 4.5 Cuadrados medios y nivel de significancia en la prueba de longitud media de plúmula**

Fuente de variación	Grados de Libertad	Cuadrado medio
Genotipos	9	9.639**
Tratamientos	3	516.527**
Genotipos x Tratamientos	27	6.166**
Error Experimental	120	0.884
Coeficiente de Variación (%)		11.736

\*\* =Nivel de significancia (0.01 %), CV = Porcentaje del Coeficiente de variación.

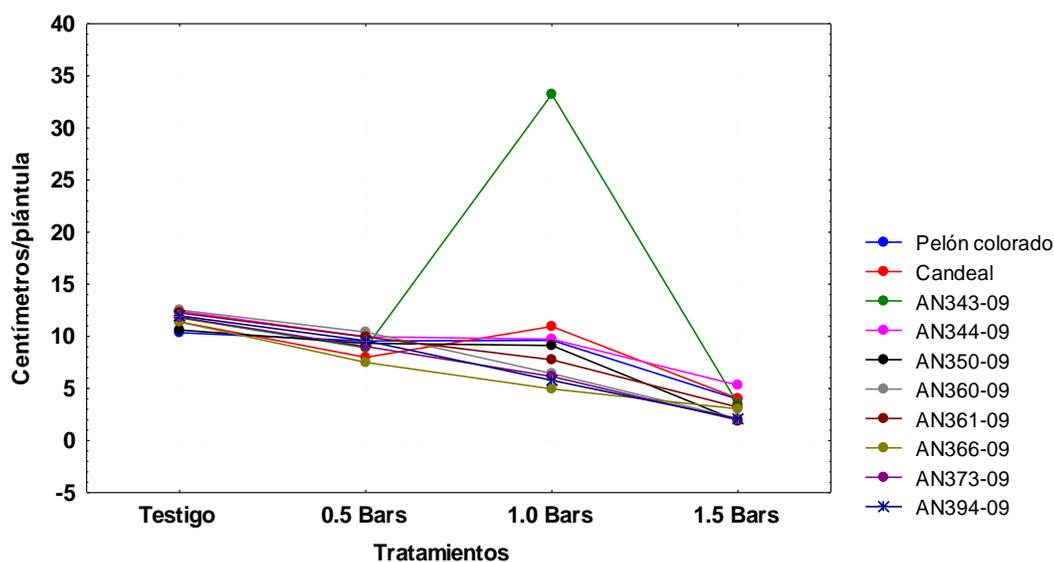
**Cuadro 4.6 Resultados de la prueba de comparación de medias entre tratamientos y entre genotipos en la prueba longitud media de plúmula**

Tratamiento	Media
T1	11.65 a
T2	9.21 b
T3	8.03 c
T4	3.10 d
Genotipo	Media
1	8.37 b c d
2	8.58 b
3	8.50 b c
4	9.35 a
5	7.73 d e
6	7.86 c d e
7	8.28 b c d
8	6.71 f
9	7.24 e f
10	7.35 e f

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (P<0,01)

En la prueba de medias de genotipos realizada a la variable longitud media de plúmula, se encontraron seis grupos estadísticos diferentes, como se muestra en el Cuadro 4.6; donde en el primer grupo estadístico A se formó con el genotipo AN-344-09, al presentar la mayor longitud con 9.35 cm, así mismo, en el grupo estadístico B, lo conformaron los genotipos 3 y 7 con 8.50 y 8.28 cm, en este mismo grupo estuvieron los testigos Pelón colorado y Candeal con 8.37 y 8.58 cm así mismo, en el grupo estadístico C, también fue formado por el testigo Pelón colorado y los genotipos 3, 6 y 7 con 8.37 hasta 7.86 cm. Con respecto al grupo estadístico E, se localizaron los genotipos 5, 6, 9 y 10 desde 7.86 hasta 7.24 cm/ plántula; y por último, grupo estadístico F, lo conformaron los genotipos 8, 9 y 10 con 6.71, 7.24 y 7.35 cm respectivamente.

En la prueba de comparación de media de los tratamientos, se tuvieron 4 grupos estadísticos, (Cuadro 4.6); donde el tratamiento 4 (testigo) obtuvo los mayores valores con 11.65 cm, seguido del tratamiento 1 con una longitud de 9.21 cm, continuando el tratamiento 2 con un promedio de 8.03 cm, y por último el tratamiento 3 con el menor promedio de plúmula de 3.10 cm.



**Figura 4.5 Respuesta de la interacción de genotipos de trigo por tratamiento en la variable Longitud Media de Plúmula en condiciones de laboratorio, 2018.**

En el tratamiento por genotipo, el tratamiento 1 (0.5 bars), el genotipo de la mayor longitud fue AN-360-09 con 11 cm/plántula, seguido de los genotipos AN-344-09 y AN-361-09 con 10 cm/plántula respectivamente, y el genotipo de la menor longitud fue el AN-366-09 con 7.5 cm/plántula, por lo que se puede decir que el comportamiento fue similar o igual en este tratamiento sin afectar en alguna medida el desarrollo de la parte aérea por mostrar valores similares al testigo como se observa en la Figura 4.5

En el tratamiento 2 (1.0 bars), el genotipo de mayor longitud resultó AN-343-09 con 33 cm/plántula, seguido del testigo Candeal con 11 cm/plántula y el genotipo de menor longitud fue AN-366-09 con 5 cm/plántula; como se aprecia en la Figura 4.5.

Lógicamente en el tratamiento de 1.5 bars (tratamiento 3), se encontraron aún más bajos los valores de longitud, donde el genotipo con la más alta resultado AN-344-09 con 5.5 cm/plántula, seguido del genotipo testigo Candeal con 4 cm/plántula y los genotipos más afectados fueron AN-373-09 y AN-350-09 con 2.0 y 1.0 cm/plántula respectivamente.

En la interacción de los tratamientos por genotipo, el tratamiento 4 (Testigo en agua), el genotipo AN-360-09 obtuvo la mayor longitud con 13 cm/plántula, seguido del genotipo AN-344-09 con 12.8 cm/plántula y el testigo Pelón colorado la de menor longitud quien presentó 10.05 cm/plántula.

En la evaluación de longitud media de plúmula se determinó que a menor déficit hídrico mayor longitud, sin embargo el propósito es determinar cuál tratamiento puede ser una mejor alternativa para desarrollar una buena longitud de plúmula por lo tanto se considera que el mejor es el tratamiento 2, ya que además de tener un rango más amplio en cuanto a resistencia por estrés también cuenta con diferentes genotipos que se adaptan a este tratamiento generando una amplia gama de alternativas para los productores de trigo que se ven afectados por el problema de sequías prologadas en sus campos.

Además, una de las observaciones más claras es que a mayor concentración de PEG menor desarrollo de longitud de plúmula habrá para cualquiera de los

genotipos analizados por lo tanto estos no soportarían tiempos tan prologados de estrés.

Estos cambios posiblemente se deban a los principales mecanismos fisiológicos de respuesta en general al estrés, ya que están relacionados con cambios en el funcionamiento de las células en el cierre estomático, mantenimiento de la estabilidad de las membranas celulares y de los orgánulos y cambios en la elasticidad de la pared celular dando un efecto negativo en las plántulas en su desarrollo como lo mencionan (Chinnsamy, 2005; Alonso, 2005)

### **Prueba de vigor mediante longitud media de radícula**

En la variable longitud media de radícula, el análisis de variación (ANVA), se observó una diferencia altamente significativa entre las fuentes de variación (FV) genotipos, tratamientos, repeticiones y la interacción genotipos y tratamientos, (Cuadro 4.7); lo cual indica que, uno de los genotipos, tratamientos, repeticiones y la interacción genotipo tratamiento tuvieron respuestas diferentes, con un coeficiente de variación de 72.37%.

**Cuadro 4.7 Cuadrados medios y nivel de significancia en la prueba de longitud media de radícula**

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>
Genotipos	9	95.275**
Tratamientos	3	385.625**
Genotipos x Tratamientos	27	110.050**
Error Experimental	120	107.631
Coeficiente de Variación (%)		72.375

\*\* =Nivel de significancia (0.01 %), CV = Porcentaje del Coeficiente de variación.

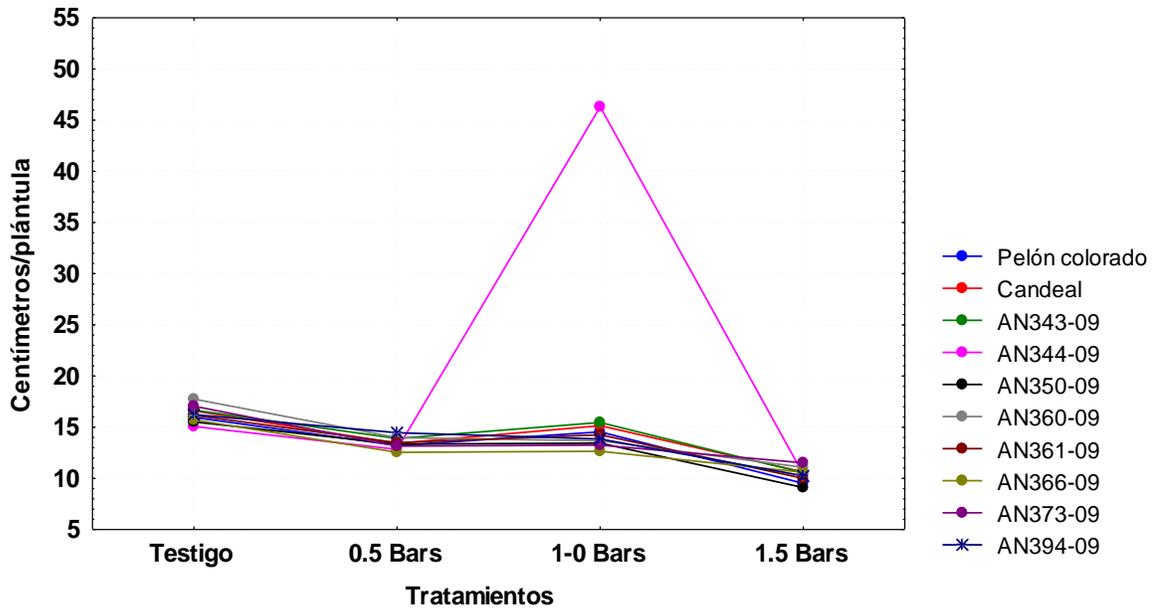
**Cuadro 4.8 Resultados de la prueba de comparación de medias entre tratamientos y entre genotipos en la prueba longitud media de radícula**

<b>Tratamiento</b>	<b>Media</b>
T1	16.27 a
T2	13.43 a b
T3	17.26 a
T4	10.36 b
<b>Genotipo</b>	<b>Media</b>
1	13.31 b
2	13.94 a b
3	14.14 a b
4	21.15 a
5	12.85 b
6	14.12 a b
7	13.47 b
8	12.88 b
9	13.74 b
10	13.70 b

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales ( $P < 0,01$ )

En la comparación de medias realizada a los genotipos en la variable LMR, se encontraron dos grupos estadísticos diferentes, como se muestra en el Cuadro 4.8; en el primer grupo A se localizó el genotipo AN-344-09 que presentó la mayor longitud con 21.15 cm/plántula, siendo la más vigorosa, seguido de los genotipos 3 y 6 con 14.14 y 14.12 cm/plántula respectivamente; así mismo el testigo Candeal con 13.94 cm/plántula; y en el último grupo B estuvieron los genotipos 9, 10, 7, 1, y 8 con longitudes de 13.74 a 12.88 cm/plántula, siendo el genotipo 1 Pelón colorado el de mayor valor y el genotipo 5 el de menor valor.

La comparación de medias de los tratamientos, mostró 2 grupos estadísticos (Cuadro 4.8); El tratamiento 2 tuvieron los valores mayores con 17.26 cm/plántula, seguido del tratamiento 4 con 16.27 cm/plántula, después el tratamiento 1 con 13.43 cm, y en el último grupo estadístico está únicamente el tratamiento 4 (testigo) con el menor valor de 10.36 cm/plántula.



**Figura 4.6 Respuesta de la interacción de genotipos de trigo por tratamiento en la variable Longitud Media de Radícula en condiciones de laboratorio, 2018.**

En la interacción de tratamientos por genotipos, el tratamiento 1 (0.5 bares) como lo muestra la Figura 4.6, el genotipo con mayor longitud fue dada por AN-394-09 con 14.5 cm/plántula, seguido de AN-360-09 con 14 cm/plántula y el genotipo de menor respuesta en la longitud la dio AN- 366-09 con 13 cm/plántula.

En el caso del tratamiento 2 (1.0 bar), el genotipo AN-344-09 sobresalió con una longitud de raíz de 45.5 cm/plántula, seguido del genotipo AN-343-09 con 16 cm/plántula, y por el contrario el genotipo que resulto de menor valor fue AN-366-09 con 13.08 cm/plántula.

En el tratamiento 3 (1.5 bars), el genotipo AN-373-09 resultó tener una longitud de 11.5 cm/plántula siendo la mayor longitud en este tratamiento, en cambio el genotipo AN-350-09 obtuvo 8.5 cm/plántula de longitud teniendo la respuesta más baja de todos los genotipos en este tratamiento.

La respuesta en la interacción del tratamiento 4 (Testigo con agua), el genotipo AN-360-09 fue el que obtuvo la mayor longitud con 18 cm/plántula, seguido el genotipo AN-373-09 con 17 cm y el genotipo de menor longitud fue AN-344-09 con 15 cm/plántula.

De acuerdo con el análisis para la variable de longitud de la radícula el genotipo 4 fue el que mayor vigor mostró, por lo tanto, indica que la variedad de semilla cuenta con un poder de germinación mayor a comparación con los demás genotipos, además de que en condiciones de déficit hídrico presenta una buena tolerancia.

Sin embargo, existen otros genotipos que también muestran una buena resistencia a condiciones de estrés hídrico y presentan buen vigor lo que hace que se expandan las condiciones bajo estrés por déficit hídrico en distintas variedades utilizando el tratamiento 2, por lo anterior el vigor que muestran distintos genotipos indica su capacidad de emerger y sobrevivir bajo condiciones de campo potencialmente estresantes y crecer rápidamente bajo condiciones favorables.

Por otro lado, el tratamiento 3 que muestra una disminución de vigor de los genotipos y otros cambios fisiológicos que favorece a una disminución de la germinación lo que provoca una pérdida. También se puede decir que una semilla con germinación aceptable puede ser baja en vigor.

Por lo anterior una semilla solo puede cumplir su papel si es viable, por lo tanto las semillas fisiológicamente uniformes y adaptadas serán inútiles si son de baja germinación y vigor (FAO, 2011).

### **Prueba de vigor Peso seco**

En la variable de tasa de crecimiento de la plántula, peso seco, el análisis de varianza (ANVA), reportó una diferencia altamente significativa entre las Fuentes de Variación (FV) genotipos, tratamientos y la interacción genotipos y tratamientos (Cuadro 4.9); resultando con un coeficiente de variación de 13.20%.

**Cuadro 4.9 Cuadrados medios y nivel de significancia en la prueba peso seco**

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>
Genotipos	9	45.309**
Tratamientos	3	211.555**
Genotipos x Tratamientos	27	17.359**
Error Experimental	120	4.014
Coeficiente de Variación (%)		13.4

\*\* =Nivel de significancia (0.01 %), CV = Porcentaje del Coeficiente de variación.

**Cuadro 4.10 Resultados de la prueba de comparación de medias entre tratamientos y entre genotipos en la prueba peso seco**

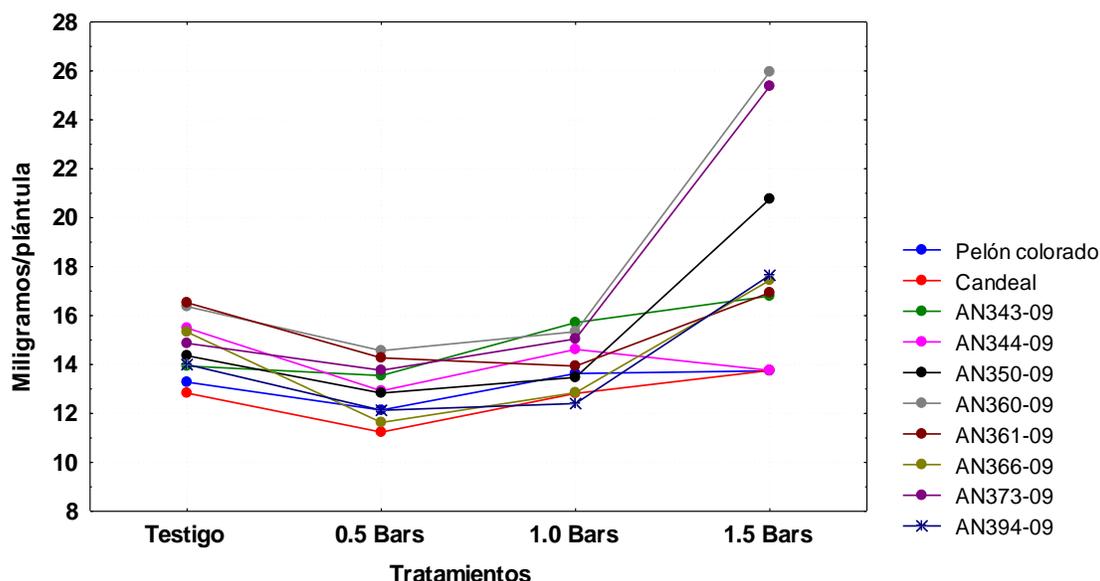
<b>Tratamiento</b>	<b>Media</b>
T1	14.69 b
T2	12.90 c
T3	13.98 b
T4	18.21 a
<b>Genotipo</b>	<b>Media</b>
1	13.19 c d
2	12.66 d
3	14.99 b
4	14.19 b c
5	15.35 b
6	18.05 a
7	15.41 b
8	14.31 b c
9	17.26 a
10	14.04 b c

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales ( $P < 0,01$ )

En la comparación de medias de genotipos en la variable peso seco, resultaron cuatro grupos estadísticos (Cuadro 4.10) donde en el primero grupo A se localizó el genotipo 6 con un peso de 0.72 mg/plántula, seguido del genotipo 9 con 0.69 mg/plántula, en el grupo B se encuentran los genotipos 7, 5, 3, 8, 4, 10 con un peso de 0.61 hasta 0.56 mg/plántula, en el grupo C se encuentran los genotipos 8, 4, 10, con 14.31, 14.19, 14.09 mg/plántula, y los testigos Pelón colorado y Candeal formaron el grupo D con el menor peso de 0.52 y 0.50 mg/plántula.

Así mismo, los resultados de prueba de comparación de las media entre los tratamientos como lo muestra el Cuadro 4.10, se obtuvieron tres grupos

estadísticos, siendo el tratamiento 3 con mayor valor de peso seco 0.72 mg/plántula, seguido del tratamiento 4 y 2 con 0.58 y 0.55 mg/plántula, y por último el tratamiento 1 con 0.51 mg/plántulas.



**Figura 4.7 Respuesta de la interacción de genotipos de trigo por tratamiento en la variable Peso Seco en condiciones de laboratorio, 2018**

En la interacción de tratamiento por genotipo, que se muestra en la Figura 4.7, en el tratamiento 1 (0.5 bares), el genotipo AN-360-09 tuvo el más alto valor con 14.5 mg/plántula, seguido del genotipo AN-361-09 con 14.2 mg/plántula y el testigo Candeal resultó el más bajo con 11 mg/plántula.

En el tratamiento 2 (1.0 bar), el genotipo de mayor peso fue AN-343-09 con 15.8 mg/plántula, seguido del genotipo AN-360-09 con 15.2 mg/plántula; y los genotipos más afectados fueron el testigo Candeal y AN-394-09 con 12.7 y 12.4 mg/plántula respectivamente.

Se observa que el tratamiento 3 (1.5 bares), donde el genotipo AN-360-09 obtuvo un valor de 26 mg/plántula, seguido del genotipo AN-373-09 con 25.5 mg/plántulas; mientras que a otros genotipos verdaderamente fueron afectados testigos Pelón colorado, Candeal y el genotipo AN-344-09 con un peso similar a 13.8 mg/plántula.

En la interacción de los genotipos en el tratamiento 4 (Testigo con agua), todos los genotipos estudiados respondieron de manera similar; donde el genotipo AN-361-09 obtuvo el peso más alto con 16.5 mg/plántula, seguido del genotipo AN-360-09 con 16.4 mg/plántula y los genotipos testigos Pelón colorado y Candeal fueron los más bajos con un 13.5 y 12,5 mg/plántula respectivamente.

Los resultados para peso seco indicaron que, el tratamiento 4 fue el de mayor contenido en peso seco a comparación de los demás tratamientos, esto puede ser debido a que la calidad fisiológica de los genotipos no se ven significativamente afectados por el estrés hídrico en cuanto a peso seco (Castañeda y Leobigildo, 2009). Sin embargo, los tratamientos 2, 3 y el testigo se demostró que hay un efecto inhibitor que provoca un menor peso seco.

De acuerdo con (Biasutti y Galiñanes, 2001), argumentan que durante el estrés hídrico las plantas pueden ajustar parcialmente su grado de turgencia mediante el incremento de solutos en las células (ajuste osmótico), factor radical ya que es menos afectada aumentando la relación con peso seco raíz y peso seco tallo, ya que tanto los parámetros de crecimiento longitudinal como radial son alterados en raíces a bajo potencial hídrico dando sistemas radicales de mayor longitud pero con menor radio, por lo anterior se dice que a mayor concentración de PEG mayor contenido en peso seco.

### **Contenido de Auxinas**

En la variable de contenido de auxinas, el análisis de variación (ANVA), se mostró una diferencia altamente significativa entre las fuentes de variación (FV), genotipos, tratamientos y interacción de genotipo y tratamientos como muestra el Cuadro 4.11, con Coeficiente de Variación de 11.82%.

**Cuadro 4.11 Cuadrados medios y nivel de significancia en la prueba contenido de auxinas**

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>
Genotipos	9	0.028**
Tratamientos	3	0.067**
Genotipos x Tratamientos	27	0.011**
Error Experimental	120	0.001
Coeficiente de Variación (%)		11.829

\*\* =Nivel de significancia (0.01 %), CV = Porcentaje del Coeficiente de variación.

**Cuadro 4.12 Resultados de la prueba de comparación de medias entre tratamientos y entre genotipos en la prueba contenido de auxinas**

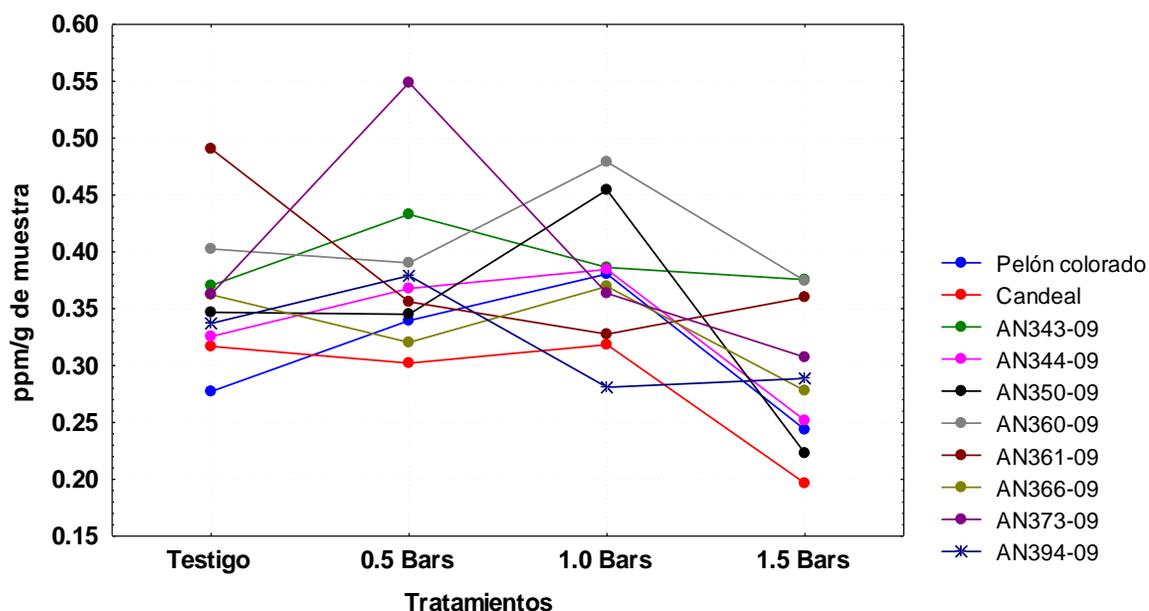
<b>Tratamiento</b>	<b>Media</b>
T1	0.35 b
T2	0.378 a
T3	0.374 a b
T4	0.28 c
<b>Genotipo</b>	<b>Media</b>
1	0.31 c d
2	0.28 c d
3	0.39 a
4	0.33b c
5	0.34 b
6	0.41 a
7	0.38 a
8	0.33 b c
9	0.39 a
10	0.32 b c

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (P<0,01)

En la comparación de medias de genotipos realizada a la variable contenido de auxinas, se encontraron 4 grupos estadísticos diferentes, mostrados en el Cuadro 4.12; en el primer grupo A se localizó el genotipo 6 que presentó el mayor contenido de proteína con 0.41 ppm/mg de raíz, así mismo se encuentran los genotipos 9, 3 y 7 con un valor de 0.39,0.39,0.38 ppm respectivamente, seguido del grupo B con los genotipos 5, 8, 4, 10 con el valor de 0.34 hasta 0.32 ppm/mg de raíz, en el grupo estadístico C se encuentran los genotipos 8, 4, 10, desde 0,33 hasta 0.32 ppm/mg

de raíz; así mismo, los testigos Pelón colorado y Candeal formaron el grupo D con los valores 0.31, 0.28 ppm/mg de raíz.

En la prueba de comparación de media entre los tratamientos, se tuvieron 3 grupos estadísticos, como se observa en el Cuadro 4.12, donde los tratamientos 1 y 2 obtuvieron los valores mayores con 0.37 ppm/mg de raíz, seguido del tratamiento 4 (testigo) con valor de 0.35 ppm/mg de raíz, en el último grupo estadístico se ubicó el tratamiento 3 con un contenido de auxinas bajo de 0.28 ppm/mg de raíz.



**Figura 4.8 Respuesta de la interacción de genotipos de trigo por tratamiento en la variable contenido de Auxinas en condiciones de laboratorio, 2018.**

En la interacción de tratamiento por genotipo, el tratamiento 1 (0.5 bares), sobresalió el genotipo AN-373-09 con 0.55 ppm/mg de raíz, seguido del genotipo AN-343-09 con 0.43 ppm/mg de raíz y resultando con el valor menor en el tratamiento, el genotipo testigo Candeal con 0.31 ppm/g de muestra.

En cuanto al tratamiento de 1.0 bar (tratamiento 2), el genotipo que sobresalió fue AN-360-09 con 0.47 ppm/mg de raíz, seguido del genotipo AN-350-09 con 0.45 ppm/mg de raíz y con el menor valor al genotipo AN-394-09 con 0.27 ppm/mg de raíz.

Los genotipos estudiados se comportaron de manera diferente en el tratamiento 3 (1.5 bares), siendo los genotipos AN-360-09 y AN-343-09 de mejor valor con 0.37 ppm/mg de raíz en ambos, seguido del genotipo AN-361-09 con 0.36 ppm/mg de raíz y los de menor valor fueron los genotipos AN-350-09 y el testigo Candeal con 0.22 y 0.19 ppm/mg de raíz respectivamente.

Con respecto a la interacción de los genotipos por tratamiento 4 (testigo con agua), el genotipo AN-361-09 fue quien tuvo la mejor respuesta con 0.49 ppm/mg de raíz, seguido del genotipo AN-360-09 con 0.40 ppm/mg de raíz, y el de menor valor fueron los genotipos testigos Candeal y Pelón colorado con 0.32 y 0.28 ppm/mg de raíz.

De acuerdo a los resultados obtenidos se mostró una variación considerable entre tratamientos por lo tanto se dice que a mayor estrés hídrico menor contenido de Auxinas ya que esto se debe a un desequilibrio fitohormonal en la plántula que incluye a hormonas como el etileno, ABA, auxinas, citoquinas, giberelinas y brasinoesteroides las cuales son sustancias químicas que controlan muchos procesos fisiológicos y bioquímicos en las plantas, que pueden afectar las diferentes actividades en las plantas incluyendo la latencia y germinación de las semillas ( Carranza y Castellanos, 2016).

Por lo anterior, se dice que el contenido de Auxinas está en función del crecimiento de las plántulas es decir que a mayor crecimiento en radícula y plántula mayor contenido de Auxinas habrá es por ello que el tratamiento 1 y 2 son los que presentan un mayor contenido de auxinas a comparación del tratamiento 3 por lo que se deduce que el estrés por déficit hídrico afecta proporcionalmente al desarrollo de las plántulas generando un menor contenido de auxinas u hormonas del crecimiento.

### Correlaciones entre las variables

En el análisis de correlaciones entre las variables evaluadas, se encontró que en el tratamiento a 0.5 bares de polietilenglicol, se tuvo una relación significativa (al 0.05% de probabilidad) y positiva entre la variable auxinas con el peso seco de los genotipos estudiados (Cuadro 4.13). La variable plántulas normales tuvo una relación significativa negativa con las variables plántulas anormales y semillas sin germinar con -0.85 y -0.56 respectivamente, y significativa positiva con las variables LMP y LMR con 0.68 y 0.34 en cada una, lo que indica que a mayor porcentaje de PN obtendremos menor porcentaje de PA y SSG, pero se aumenta LMP y LMR de las plantas en este tratamiento.

**Cuadro 4.13 Resultado del análisis de correlaciones entre las variables estudiadas en el tratamiento 1 (0.5 Bars de polietilenglicol)**

Variables	IVE	PN	PA	SSG	LMP	LMR	PS	AUX
IVE	1.00	0.30	0.01	-0.48	0.13	0.27	0.11	0.00
PN		1.00	-0.85	-0.56	0.68	0.34	0.22	0.05
PA			1.00	0.07	-0.62	-0.29	-0.23	-0.08
SSG				1.00	-0.36	-0.22	-0.04	0.06
LMP					1.00	0.28	0.48	0.04
LMR						1.00	0.25	0.00
PS							1.00	0.39

Con respecto a la relación entre la variable plántulas anormales con LMP fue de manera significativa negativa ( $r = -0.62$ ), donde esta última también resultó negativa con SSG ( $r = -0.36$ ) lo que quiere decir que a mayor porcentaje de PA o SSG disminuye la LMP.

En cuanto a la relación entre pruebas de vigor con LMP y PS, resulto una relación significativa positiva con 0.48 reflejando que mayor LMP mayor PS; así mismo esta última variable resulto con una relación significativa positiva con la variable Auxinas ( $r = 0.39$ ), teniendo mayor contenido de auxinas cuando aumenta el PS de la planta de la producida al tratar semillas con 0.5 bares de polietilenglicol.

**Cuadro 4.14 Resultado del análisis de correlaciones entre las variables estudiadas en el tratamiento 2 (1.0 bar de polietilenglicol)**

Variables	IVE	PN	PA	SSG	LMP	LMR	PS	AUX
IVE	1.00	0.52	-0.57	0.16	0.03	-0.10	-0.29	0.00
PN		1.00	-0.94	-0.15	0.20	0.13	-0.14	-0.03
PA			1.00	-0.15	-0.21	-0.09	0.22	0.04
SSG				1.00	0.05	-0.10	-0.14	0.04
LMP					1.00	0.01	0.03	0.00
LMR						1.00	0.08	0.04
PS							1.00	0.28
AUX								1.00

En el análisis de correlaciones entre las variables evaluadas, se encontró que en el tratamiento 1.0 Bares de polietilenglicol (Cuadro 4.14), se tuvo una relación significativa de 0.05% de probabilidad de manera negativa entre las variable IVE con PA y PS con un valor -0.57 y -0.29 respectivamente, y de manera significativa positiva con la variable PN con 0.52 los genotipos estudiados, la variable PN tuvo una relación significativa negativa con la variable PA con -0.94 , lo que indica que a mayor porcentaje de PN obtendremos menor porcentaje de PA.

Con respecto a la relación entre la variable Peso Seco con Auxinas fue de manera significativa positiva (0.28), lo que quiere decir que a mayor porcentaje de PS mayor contenido de Auxinas.

**Cuadro 4.15 Resultado del análisis de correlaciones entre las variables estudiadas en el tratamiento 3 (1.5 bares de polietilenglicol)**

Variables	IVE	PN	PA	SSG	LMP	LMR	PS	AUX
IVE	1.00	0.45	-0.38	-0.02	0.45	0.19	-0.22	0.21
PN		1.00	-0.97	0.17	0.94	0.01	-0.82	-0.22
PA			1.00	-0.33	-0.93	0.02	0.80	0.28
SSG				1.00	.18	0.06	-0.01	-0.16
LMP					1.00	0.10	-0.72	-0.21
LMR						1.00	.14	0.20
PS							1.00	0.35
AUX								1.00

En el análisis de correlaciones entre las variables evaluadas, se encontró que en el tratamiento a 1.5 bares de polietilenglicol, se tuvo una relación significativa de 0.05% de probabilidad de manera positiva entre la variables IVE con PN y LMP con un valor 0.45, y de manera significativa negativa con las variables PA con 0.38 con los genotipos estudiados (Cuadro 4.15). la variable Plántulas Normales tuvo una relación significativa negativa con las variables PA y PS con -0.97 y -0.82 respectivamente, y significativa positiva con las variable LMP con 0.94, lo que indica que a mayor porcentaje de PN se obtendra menor porcentaje de PA y PS, pero se aumenta LMP de las plantas en este tratamiento.

Con respecto a la relación entre la variable Plántulas Anormales con LMP fue de manera significativa negativa con -0.93, donde también resulto una significancia positiva con la variable PS con (0.80), lo que quiere decir que a mayor porcentaje de PA disminuye la LMP y PS.

En cuanto a la relación entre pruebas de vigor con LMP y PS, resulto una relación significativa negativa con -0.72 reflejando que menor LMP menor PS; así mismo esta última variable resulto con una relación significativa positiva con la variable Auxinas (0.35), teniendo mayor contenido de auxinas cuando aumenta el PS de la planta de la producida al tratar semillas con 1.5 bares de polietilenglicol.

**Cuadro 4.16 Resultado del análisis de correlaciones entre las variables estudiadas en el tratamiento 4 (Testigo)**

Variables	IVE	PN	PA	SSG	LMP	LMR	PS	AUX
IVE	1.00	0.49	-0.17	-0.93	0.40	0.05	0.27	0.33
PN		1.00	-0.94	-0.36	0.59	-0.02	0.27	0.17
PA			1.00	0.02	-0.51	0.03	-0.20	-0.07
SSG				1.00	-0.35	-0.07	-0.31	-0.32
LMP					1.00	0.34	0.38	0.33
LMR						1.00	0.19	0.11
PS							1.00	0.47
AUX								1.00

En el análisis de correlaciones entre las variables evaluadas, se encontró que en el tratamiento testigo (Cuadro 4.16), se tuvo una relación significativa de 0.05% de probabilidad de manera positiva entre la variable auxinas con un valor 0.33 con los

genotipos estudiados. La variable plántulas normales tuvo una relación significativa negativa con las variables Plántulas Anormales y Semillas sin Germinar con -0.94 y -0.36 respectivamente, y significativa positiva con la variable LMP con 0.59, lo que indica que a mayor porcentaje de PN se obtendrá menor porcentaje de PA y SSG, pero se aumenta LMP de las plantas en este tratamiento.

Con respecto a la relación entre la variable plántulas anormales con LMP fue de manera significativa negativa con -0.51, lo que quiere decir que a mayor porcentaje de plántulas anormales disminuye la longitud media de plúmula en este tratamiento.

La asociación de la variable de semillas sin germinar con Longitud Media de Plúmula y Auxinas fue de manera significativa negativa con -0.35 y -0.32 respectivamente, lo cual quiere decir que a mayor porcentaje de semillas sin germinar disminuye la Longitud Media de Plúmula y Auxinas

En cuanto a la variable Longitud Media de Plúmula, resultó una relación significativa positiva con Longitud Media de Radícula, Peso Seco y Auxinas con 0.34, 0.38 y 0.33 respectivamente, que a mayor LMP mayor Longitud Media de Radícula, Peso Seco y Auxinas; así mismo esta última variable resultó con una relación significativa positiva con la variable Auxinas (0.47), teniendo mayor contenido de Auxinas cuando aumenta el PS de la planta.

## CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos, se establece que:

- En los materiales evaluados existe diferente respuesta en la calidad fisiológica tanto en la capacidad de germinación como en el vigor, donde el genotipo AN-366-09 sobresalió con el mayor IVE, y el genotipo AN-344-09 en porcentaje de plántulas normales, mientras el genotipo AN-360-09 en las pruebas de vigor. Sin embargo, existió un comportamiento diferente en las concentraciones estudiadas de polietilenglicol.
- Al existir una relación positiva de IVE con PN y negativa con PA y SSG con la aplicación de polietilenglicol, el genotipo AN-344-09 sobresalió, al obtener mayor emergencia y germinación en los tratamientos, por lo que se puede considerar un material vigoroso y posiblemente tolerante a características de sequía.
- Así mismo, existe una relación positiva de PN con las variables LMP y LMR con la aplicación de polietilenglicol 1.5 bars, siendo los superiores los genotipos AN-343-09 en LMP y nuevamente AN-344-09 en LMR, reafirmando su vigor a pesar del déficit hídrico.
- Existe una relación significativa y positiva entre PS y el contenido de auxinas en la raíz de los genotipos en los tratamientos estudiados, destacando la línea AN-360-09 con el más alto peso seco de plántulas y mayor contenido de auxinas en raíz.

## LITERATURA CITADA

- Alfonso C. R. 2006. Mejoramiento para resistencia a la sequía en el cultivo de arroz. Instituto de investigaciones del arroz. La Habana, Cuba.
- Alonso S. A. 2005. Ethylene signalling and response pathway: a unique signalling cascade with a multiple of inputs. *Physiol Plant*, 195 - 206.
- Álvarez B.J.R. 1991. Implementación de la Metodología de cultivo In Vitro de embriones como una alternativa para seleccionar genotipos de maíz (*Zea mays* L.) tolerantes a sequía. Tesis de Licenciatura. U.A.A.A.N. Buenavista Saltillo, Coah. 105 p.
- Association of Official Seed Analysts (AOSA). 1992. Vigor Testing handbook. Contribution No.32 to the handbook of seed testing). USA. 6:1-126.
- 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* 19:27-37.
- Bermudez C. F. A. Estrada G. y F. Castillo G. 1984. Germinación bajo presión osmótica alta en genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.), seleccionados en pruebas de campo. *Rev. Chapingo*. 117-123. México
- Bewley J.D. y M. Black.1978. *Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination*. Springer Verlag. N.Y
- Biasutti C. A. y Galiñanes V. 2001. Influencia de ambiente de selección sobre la germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L) bajo estrés hídrico. Relaciones entre caracteres de plántula con el rendimiento a campo. *Agriscientia*, 37-44.
- Bolaños J. A. y G. O. Edmeades. 1988. La importancia del intervalo de floración en el mejoramiento para la resistencia a sequía en maíz tropical. Trabajo presentado en la xxx Reunión Anual del PCCMCA. San Pedro Sula, Brasil, abril 2-9, 1989. Programa de maíz . CIMMYT, México. 14 P.

- Bravo L. A. G., H. Salinas G. y A. Rumayor R. 2006. Sequía: Vulnerabilidad, impacto y tecnología para afrontarla en el Norte Centro de México. INIFAP. Campo Experimental Zacatecas. Libro Técnico Num. 4. 2ª Edición.
- Cantú A. M. A. 2008. H-440: nuevo híbrido de maíz tolerante a la sequía para el noreste de México. Inifap.
- Carranza C. y Castellanos G. 2016. Efecto de la aplicación de reguladores de crecimiento sobre la germinación de semillas de badea (*Passiflora quadrangularis*) en condiciones de invernadero . Revista Colombiana de ciencias hortícolas , 284-291..
- Castañeda-Saucedo y Leobigildo C. 2009. Respuestas fisiológicas, rendimiento y calidad de semilla en frijol sometido a estrés hídrico. Asociación Interciencia, 461-466
- Castro M.I., López P.M.C. y González H.V.A. 2009. Evaluación morfo-fisiológica de brotes de maíz sometidos a selección in vitro bajo estrés osmótico. Revista Fitotecnia Mexicana (32) 004:281-288.
- Chinnsamy L. X.-K. 2005. use of genetic engineering and molecular biology approaches for crop improvement for strees environments. abiotic stresses plant resistance throng breeding and molecular approaches, 47- 95.
- Deubenmire R.F.1982 Ecología vegetal. Tratado de autoecología de plantas 3a Ed. Limusa. México
- Fabre B.R., Boero L.E., Argibay J., Beneciay H. y Del Rio A. 2006. Screening de macroprolactina con polietilenglicol: limite de corte. Buenos Aires, Argentina. Acta bioquímica clínica latinoamericana. 40 (001): 77-81 pp.
- FAO 2016 <http://conservacion.cimmyt.org/en/boletin-ac/2016/1912-mexico-como-lider-en-la-produccion-de-trigo>
- FAO 2018. Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>

- FAO. 2011. Semillas en emergencias (manual técnico). Roma: FAO.
- FAO/WHO, 1990. introduccion a la agronomía. <http://www.fao.org>.
- Fernández R. y Caballero A. 2015. Calidad de la semilla de trigo de temporal en función del ambiente de producción. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 50-62.
- Fischer K.S., E.C. Johnson y G.O. Edmeades. 1984. Mejoramiento y selección de maíz Tropical para incrementar su resistencia a Sequía. CIMMYT. El Batán, México. 20 p.
- Flores H. A. 2004. Introducción a la tecnología de las semillas. 1ª Edición. Departamento de Publicaciones de la Dirección General de Difusión Cultural y Servicio de la UACH. UACH. México. p. 61-78.
- Garnica S. J. 2004. Respuestas al estrés de plántulas de trigo (*Triticum aestivum* L.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.) Tesis de Licenciatura, UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- González L. M., L. Argente Zaldívar, Nircia y R. Ramírez. 2005. Efecto de la sequía simulada con peg-6000 sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas de dos variedades de trigo. *Cultivos Tropicales*. 26(4):49-52.
- Griffiths J.F. 1985. Climatología aplicada. Publicaciones culturales. México. P.
- [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232419/Boletin\\_mensual\\_de\\_la\\_produccion\\_trigo\\_mayo\\_2017\\_2.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232419/Boletin_mensual_de_la_produccion_trigo_mayo_2017_2.pdf)
- Hunter J.W. Laude, H.H. and Brunsen, A.M. 1936. A Method for studying resistance to drought injury in inbred lines of maize *J Amer. Soc. Agron.* 28: 694-698
- INIFAP. 2004. Variedades de trigo para producción de grano o forraje para el norte y centro de Coahuila. Centro de Investigación Regional del Noreste Campo Experimental Zaragoza. Desplegable técnico no.12

- International Seed Testing Association (ISTA). 2009. International rules for seed testing Edition 2009. The International Seed Testing Association, Zürichstr. 50 CH-8303 Bassersdorf, Switzerland. ISBN-13 978-3-906549-53-8.
- Iturriaga de la F. G. y S.J. Rodríguez S. 2010. La acumulación de trehalos en Azospirillum brasilense mejora la tolerancia a la sequía y la biomasa en plantas de maíz. Revista Claridades Agropecuarias. 202:40-46.
- John M. Brick, Richard M. Bostock y Sara E. Silverstone .et al.,1990. Salkousky. Rapid In Situ Assay for Indoleacetic Acid Production by Bacteria Immobilized on a Nitrocellulose Membrane. Applied and environmental microbiology. 57. 535-8.
- Jugenheimer R.W. 1981. Maíz. Variedades mejoradas. Métodos de cultivo y producción de semillas. Editorial Limusa, México. P. 274-284.
- Kramer P. M. 1980. Drought stress and origin adaptations in: adaptation of plant to water and high temperatura stress (Ed.) N. C. Turner and P. J. Kramer, Wiley. New York, USA.
- Kuruvadi S. 1980 Studies on dry land wheat Triticum durum. Postdoctoral Research Investigation. Agrl. Canada Res. Station Research Branch. Swift current Saskatchewan. Canada
- Layne-Garsaball y Mendez-Netera. 2008. Efecto del potencial osmotico y del tamaño de la semilla sobre la germinación y crecimiento de plántulas de maíz (ZEA MAYS L.) bajo condiciones de laboratorio . Revista especializada en ciencias químico-biológicas, 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 polietilénglicol en cultivos

- hidropónicos de especies forestales. Sociedad Española de Ciencias Forestales, Aerotecnia 024.
- Márquez S. F. 1991. Genotécnia Vegetal. Métodos Teoría y Resultados. Tomo III. AGT editor, S. A. México, D.F. Pág. 382.
- 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:49-54.
- Molina M.J., Estrada J.A., Livera M., Y González V.A., 1990. Análisis de la Enseñanza, Producción E investigación de Semillas de México, Sociedad Mexicana de Citogenética. Chapingo, México.
- 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:105- 112.
- Moreno F. L. P. 2009. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. Universidad Nacional de Colombia. Agronomía Colombiana. 27(2), 179-191. Bogotá, Colombia.
- Moreno M.E., 1996. Análisis físico y biológico de semillas 3ª Ed. UNAM. México. p.113-122.
- Muñoz O. A. y J. Ortiz 1971. Problemas de mejoramiento de la producción bajo sequía en Maíz. Resúmenes de IV congreso Mexicano de Fitogenética, Sociedad Mexicana de Fitogenética de Chapingo, México.
- Muñoz O., A. 1980. Resistencia a la sequía y mejoramiento genético. Ciencia y Desarrollo. CONACYT. México. 33:26-35.
- Parmar M.T. and R.P. Moore. 1966. Effects of simulated drought by polyethylene glycol solutions on corn (*Zea mays* L) germination and seedling development. Agron. J. 58: 381-392.
- 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.
- Poehlman J. M. y S. Allen. 2005. Mejoramiento Genético de las Cosechas. 2ª Edición. Limusa wiley. México D.F.
- Quizenberry J, E. 1987. Mejoramiento de plantas para la resistencia a la sequía y el aprovechamiento del agua. En Christiansen, M.N. y Ch F. Lewis (Eds) Mejoramiento de plantas en ambientes poco favorables. Limusa. México. P. 233-256
- 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.
- Rajaram S. 1989. Mejoramiento de trigo para obtener tolerancia a la sequía: Perspectivas y opiniones. En mejoramiento de la resistencia a la sequía en trigo. Memoria del taller. Marcos Juárez, Argentina, del 28 al 30 de agosto de 1989. CIMMYT. México. Pp.
- Ramiro C. M. 2008. El cultivo del trigo (*Triticum aestivum*). Tesis de Licenciatura. U.A.A.A.N. Torreón Coahuila. 53 p.
- Rivera G. M. 1988. Evaluación de metodologías para seleccionar genotipos de maíz tolerantes a sequía. Tesis de maestría. U.A.A.A.N. Buenavista Saltillo, Coahuila. 105 P.
- Robledo T.v., Kuruvadi S., Oyervides G. A. 1993. Relación entre rendimiento y sus componentes en maíz bajo condiciones de temporal. Rev. Agraria 9(2):126-137.
- Rodríguez A. G. 2001. Estudio de caracteres fenológicos agronómicos, morfológicos y fisiológicos en relación con la tolerancia al estrés hídrico en cebada. tesis de la Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Biológicas Madrid.
- Rojas G. M. 1978. Fisiología vegetal aplicada. Mc Graw Hill. México. 252 p.

- Rojas G. M. 2003. La Resistencia a la sequía. Revista Ciencia UANL. 6 (3): 326-331.
- Ruiz C. R. 1981. Cultivo del trigo y la cebada. Temas de Orientación Agropecuaria Bogotá.
- SAGARPA 2004 Anuario estadístico de producción y comercialización de trigo.
- SAGARPA, 2017. Boletín mensual de la producción trigo mayo 2017.
- SAGARPA. 2000. Capítulo 26. cereales, raíces feculentas y otros alimentos con alto contenido de carbohidratos. Sagarpa Xochimilco, miércoles 28 de diciembre de 2016
- Sánchez J Mejía , J. A., Hernández, A., Peña, A. y Carballo, a. 2007. Acondicionamiento osmótico de semillas de tomate de cáscara. Agricultura Técnica en México. 33 (002): 389-397.
- Sargapa siap 2017. Boletín mensual de producción. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.09 de enero de 2017
- SAS. 1989. Institute Inc. SAS/STAT User's guide. Versión 6. Fourth edition. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Sharp y Davies, 1979. Solute regulation and growth by roots and shoots of water-stressed maize plants. Volume 147, Issue 1, pp 43–49.
- Taboada S. M. y R. Oliver G. 2009. La sequía intraestival, una manifestación de cambio climático en el estado de Morelos, México. Investigación agropecuaria. 2009.: 51-62.
- Valiente O. M. 2001. Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. Investigaciones Geográficas (Esp), Numero 026. Universidad de Alicante, Alicante, España pp. 59-80.
- 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.109-123.

Viqueira L.,L. Gomez y C. Rodríguez. 1981. Efecto de la sequía simulada mediante PEG 4000 en la variedad de caña de azúcar Ja 60-5. Ciencias de la Agricultura 9:51-59. Cuba.