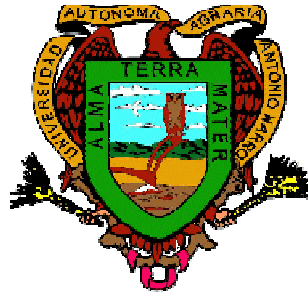


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISION DE AGRONOMIA**



**ESTRÉS CON POLIETILEN-GLICOL Y CLORURO DE SODIO
EN FAMILIAS DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.)**

POR

REGINA VARGAS PEREZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

INGENIERO AGRONOMO EN PRODUCCIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE AGRONOMIA

Estrés con polietileno-glicol y cloruro de sodio en familias de trigo

(*Triticum aestivum* L.)


POR

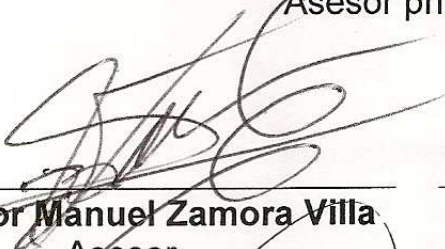
REGINA VARGAS PEREZ

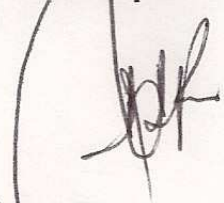
Que se Somete a Consideración del H. Jurado Examinador como
Requisito Parcial
Para Obtener el Título de:


INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

A P R O B A D A

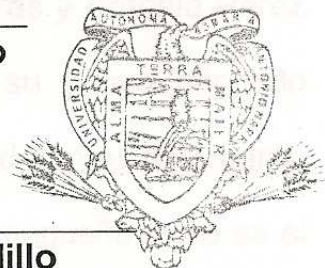

M. P. **María Alejandra Torres Tapia**
Asesor principal


Dr. **Victor Manuel Zamora Villa**
Asesor


M. C. **Modesto Colín Rico**
Asesor


Dr. **Mario Ernesto Vázquez Badillo**
Asesor


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



Coordinación
División de Agronomía

Dedicatorias

A mis padres:

Yolanda Pérez Orona

Urbano Vargas Moreno

¡LO LOGRE!

A mis hermanos:

Brandon Manuel

Y

Hever Misael

Agradezco a toda mi familia por representar una enorme inspiración en mi vida, principalmente Mis Abuelos: Ma. Teresa Orona Balderas y Antonio Pérez Gómez, hoy les dedico este pequeño logro, gracias por su apoyo brindado durante el transcurso de mi carrera y motivarme a seguir adelante, finalmente culmino con gran satisfacción y orgullo. Además, siendo un pequeño logro es el comienzo de muchos más. ¡GRACIAS!, los quiero mucho.

Agradecimientos

A DIOS:

Le doy gracias a Dios por la Familia que tengo, además darme la oportunidad de terminar la carrera, fuerzas, espíritu y motivaciones que ahora están siendo realizadas.

A MI ALMA TERRA MATER:

Gracias a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por haberme brindado la oportunidad de realizar una carrera profesional y los conocimientos necesarios para enfrentar nuevos retos. Gracias por haberme permitido formar parte de la gran familia, ¡LOS BUITRES!

A MIS MAESTROS

MP. Ma ALEJANDRA TORRES TAPIA

Agradecimientos por haberme aceptado como uno de sus tesis de investigación, por sus conocimientos transmitidos durante todo el proceso de Investigación y principalmente por prestar tiempo en la realización de esta investigación. ¡MUCHAS GRACIAS MAESTRA!

Doc. Víctor Zamora

Agradecimientos por su ayuda y tiempo prestado en la realización de esta investigación.

Y a todos los que en verdad me transmitieron sus conocimientos

A MI NOVIO: SILVIANO ESCAMILLA LAGUNA

Gracias Moso por tu apoyo, ayuda y confianza y sobre todo estar conmigo.

A MIS AMIGOS

Gracias por su sincera amistad, por contagiarme de energía positiva, por todos los momentos vividos, también porque juntos hicimos un buen equipo de trabajo.

INDICE GENERAL

	Página
Dedicatorias.....	i
Agradecimientos.....	ii
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	
Mejoramiento genético enfocado al estrés salino.....	6
• Mejoramiento tradicional.....	6
• Situación actual.....	7
Mejoramiento genético enfocado al estrés por sequía.....	8
• Mejoramiento tradicional.....	8
• Situación actual.....	9
Heredabilidad.....	10
• Heterosis.....	10
Germinación de semillas.....	12
• Concepto.....	12
Efectos provocados por la salinidad.....	13
Efectos provocados por estrés hídrico.....	15
Mejoramiento genético en el cultivo de Trigo.....	18
• Avances del mejoramiento genético en México.....	18
• Mejoramiento genético para la tolerancia a salinidad.....	19
• Mejoramiento genético para la tolerancia a sequía.....	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS	
Localización geográfica del sitio experimental.....	21
Descripción de materiales.....	21
• Material vegetativo.....	21
• Tratamientos.....	22
• Preparación de las concentraciones de NaCl y PEG 8000.....	23
Variables evaluadas.....	23
▪ Calidad Física.....	24

• Contenido de humedad (CH).....	24
• Peso de mil semillas (PMS).....	25
• Peso volumétrico (PV).....	25
• Pureza Física.....	25
▪ Calidad Fisiológica.....	27
• Capacidad de germinación.....	27
▪ Vigor.....	28
• Longitud media de plúmula (LMP).....	28
• Longitud media de radícula (LMR).....	29
Diseño experimental y análisis estadístico.....	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
Calidad física y fisiológica inicial.....	32
Efectos del tratamiento con cloruro de sodio (NaCl).....	47
Potenciales osmóticos con NaCl.....	52
Interacción genotipos por potenciales osmóticos con NaCl.....	54
Efecto del tratamiento con Polietilen-glicol (PEG 8000).....	56
Potenciales hídricos con PEG 8000.....	60
Interacción genotipo por potenciales hídricos con PEG 8000.....	62
Efecto de los tratamientos en la Calidad Fisiológica.....	65
Materiales genéticos a través de tratamientos con NaCl y PEG 8000.....	67
V. CONCLUSIONES	72
VI. LITERATURA CITADA	74

INDICE DE CUADROS

Nº de Cuadro	Descripción	Página
3.1	Identificación de las seis familias y sus progenitores de trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.) estudiados.....	22
3.2	Concentraciones de salinidad con NaCl y sequía con PEG 8000 y gramos de soluto utilizados.....	23
4.1	Cuadros medios, significancia y comparación de medias en las variables evaluadas en la calidad física inicial de seis familias y sus progenitores de trigo bajo condiciones de laboratorio.....	33
4.2	Cuadros medios, significancia y comparación de medias en las variables evaluadas en las pruebas fisiológicas de semillas de seis familias y sus progenitores de trigo (UAAAN 2009).....	42
4.3	Cuadros medios, significancia y comparación de medias en las variables evaluadas mediante pruebas fisiológicas de seis familias y sus progenitores de trigo con diferentes potenciales osmóticos con NaCl (UAAAN 2009).....	49
4.4	Cuadros medios, significancia y comparación de medias en las variables evaluadas mediante pruebas fisiológicas de seis familias y sus progenitores de trigo con diferentes potenciales hídricos de PEG 8000 (UAAAN 2009).	58
4.5	Cuadros medios, significancia y comparación de medias de NaCl y PEG 8000 en seis familias y sus progenitores de trigo (UAAAN 2009).....	66
4.6	Grupos de significancia de comparación de medias de los genotipos de trigo a través de tratamientos con NaCl y PEG 8000 en las variables evaluadas (UAAAN 2009).....	69

INDICE DE FIGURAS

Nº de Figura	Descripción	Página
4.1	Comparación de medias con DMS de los diferentes potenciales osmóticos con NaCl en las pruebas de capacidad de germinación.....	54
4.2	Respuesta de la capacidad de germinación en la interacción de materiales genéticos por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.....	56
4.3	Comparación de medias con DMS de los diferentes potenciales hídricos con PEG 8000 en las pruebas de capacidad de germinación.....	62
4.4	Respuesta de la capacidad de germinación en la interacción de materiales genéticos por diferentes potenciales hídricos con PEG 8000.....	65

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo se ha registrado que del total de la producción agrícola mundial, un gran porcentaje es dado por el cultivo de trigo, donde anualmente se producen 100 Kg por cada habitante en el mundo (Forero, 2000). Casi toda su producción se destina a la alimentación humana. En México, en los últimos 10 años se ha incrementado la importación de 0.74 a cerca de 3 millones de toneladas. Esta situación obedece a que se ha registrado una reducción paulatina del área sembrada en condiciones de riego por problemas de enfermedades, escasez de agua, altos costos de producción, baja rentabilidad, variedades inadecuadas, mala calidad, etc. (Villaseñor, 2000).

Uno de los factores que interviene en la producción de este cultivo esta dado por la calidad del suelo, que a través del tiempo se ha ido deteriorando, dando lugar a la salinidad de suelos precedentes de la civilización humana y que en la actualidad, es el mayor estrés abiótico que perjudica la productividad y calidad de las cosechas. Aproximadamente el 20% del área cultivada a nivel mundial y cerca de la mitad de las tierras irrigadas son afectadas por este factor (Malik *et al.*, 1986).

En regiones semi-áridas o regiones áridas con deficiente drenaje, los suelos acumulan sales por la evaporación del agua de riego. Este incremento de

salinidad en suelo o el empleo de aguas de riego con una alta concentración de sales, mayor a lo aconsejado, genera cambios en las condiciones del medio, que reducen o cambian desfavorablemente el crecimiento o desarrollo de las plantas (Levitt, 1980); sin embargo, el mejoramiento de las técnicas de cultivo y la selección genética nos conduce a un incremento considerable de sus rendimientos (Kent, 1983). Se estima que de las 14 mil millones de hectáreas cultivables en el planeta, solo el 10% no presenta condiciones de sequía. Por otra parte, haciendo un análisis de la cantidad y distribución de la lluvia en las grandes regiones que por mucho tiempo han surtido de alimentos a la humanidad, se concluye que estas tienden a la desertificación, lo que ha provocado que los cultivos tengan que producir en condiciones de estrés hídrico (Byerlee y Moya, 1993).

En los estudios de laboratorio, el déficit hídrico en el suelo se puede simular mediante el uso de soluciones con potenciales hídricos definidos (Emmerich & Hardegree, 1991). Un método sencillo, que no requiere de equipos especializados para identificar semilla de buena calidad y que permite a la vez evaluar el efecto del estrés salino y de sequía, es el empleo de compuestos o productos comerciales para simular bajo condiciones de laboratorio el estrés: sulfato de sodio y cloruro de sodio para simular estrés salino y manitol, polietilenglicol, cloruro de sodio entre otros para simular efectos de sequía (Martínez, 1999; Wong, 2002; Méndez *et al.*, 2002). La prueba en este tipo de soluciones osmóticas sería apropiada para diferenciar materiales resistentes y para ser

utilizados como progenitores en cruzamientos (Blum, 1988). La identificación de genotipos con altos porcentajes de germinación bajo estrés puede mejorar el vigor de la plántula, el establecimiento en campo y la competitividad (Willenborga, *et al.*, 2005). El método se basa en que la semilla que tenga la capacidad para germinar y emerger bajo condiciones de estrés, es un indicativo de potencial genético para la tolerancia, al menos en esta etapa del ciclo de vida (Bernstein y Ayers, 1953 y Pearson *et al.*, 1966).

Por ello, en el presente trabajo se compararon 10 materiales genéticos (seis familias y sus cuatro progenitores) generados por el Programa de Cereales del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con la finalidad de conocer su respuesta o comportamiento bajo condiciones de estrés abiótico simulado en laboratorio (estrés salino y estrés hídrico) asociando la heredabilidad y heterosis en los materiales estudiados y poder seleccionar los mejores bajo estas condiciones, además de tener alternativas para estas circunstancias edafológicas dando lugar al siguiente objetivo general y objetivos específicos:

Objetivo General

- Comparar la calidad física y fisiológica inicial de semillas en seis familias de trigo (*Triticum aestivum* L.) y sus progenitores a través de estrés salino (Cloruro de sodio) e hídrico (Polietilen-glicol 8000).

Objetivos Específicos

- Determinar la calidad física y fisiológica inicial de semillas de seis familias de trigo (*Triticum aestivum* L.) y sus progenitores en condiciones de laboratorio.
- Comparar la calidad fisiológica de semillas en seis familias de trigo (*Triticum aestivum* L.) y sus progenitores bajo diferentes potenciales osmóticos con Cloruro de Sodio (NaCl) bajo condiciones de laboratorio.
- Comparar la calidad fisiológica de semillas en seis familias de trigo (*Triticum aestivum* L.) y sus progenitores bajo diferentes potenciales hídricos con Polietilen-glicol 8000 (PEG 8000) bajo condiciones de laboratorio.

Hipótesis

- Al menos una familia o progenitor de trigo (*Triticum aestivum* L.) tiene alta calidad física y fisiológica inicial en condiciones de laboratorio.
- Al menos una familia o progenitor de trigo (*Triticum aestivum* L.) mantiene su calidad fisiológica a través del estrés salino con Cloruro de Sodio (NaCl).
- Al menos una familia o progenitor de trigo (*Triticum aestivum* L.) mantiene su calidad fisiológica a través del estrés hídrico con Polietilen-glicol 8000 (PEG 8000).

Palabras clave: trigo, potenciales, salinidad, sequia.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Mejoramiento genético enfocado al estrés salino

Mejoramiento tradicional

Según Shannon (1997), el carácter poligénico de la tolerancia al estrés salino ha sido el principal obstáculo para la mejora genética. Donde por los diferentes métodos de mejora genética tradicional, como lo son: selección y cruzamientos, se han conseguido variedades o líneas más productivas para condiciones de salinidad en cultivos como alfalfa, arroz, cebada, sorgo, tomate y trigo (Ashraf, 1994; Flowers y Yeo, 1995). Este proceso de mejora ha tenido éxito dependiendo de la variabilidad genética y la heredabilidad para el carácter de tolerancia del cultivo.

En especies forrajeras se ha demostrado la existencia de variabilidad genética heredable respecto a la tolerancia a salinidad, en especial cuando se evalúan poblaciones provenientes de lugares con limitaciones edáficas (Rogers *et al.*, 1998; Shannon y Noble, 1995; Rumbaugh y Pendery, 1990; Horst y Dunning, 1989; Marcar, 1987; Alen *et al*, 1985; Ando *et al*, 1985). Aunque la estrategia por mejora convencional no ha fructificado en la mayor parte de los casos.

Situación actual

El interés por mejorar la tolerancia de los cultivos a la salinidad ha ido creciendo en los últimos años, donde la incorporación de genes procedentes de parentales silvestres tolerantes, la domesticación de plantas halófilas silvestres y la identificación de caracteres relacionados con tolerancia empleando marcadores moleculares (Ashraf, 1994; Shannon, 1997; Yeo, 1998), o bien la incorporación de genes cuya expresión modifica mecanismos bioquímicos y fisiológicos involucrados en la tolerancia (Jain y Selvaraj, 1993; Yeo, 1998; Hasegawa *et al.*, 2000), han llevado al empleo de métodos de mejora y selección tradicionales o bien, la producción de organismos modificados genéticamente.

Una de las aproximaciones al estudio de la tolerancia al estrés, ha sido el empleo de métodos estadísticos y mapeo genómico, con lo que se consigue asociar el fenotipo de un carácter cuantitativo con marcadores genéticos. Esto se consigue con el análisis de loci de caracteres cuantitativos o QTL (quantitative trait locus) (Quarrie, 1996).

En arroz, cultivo donde la tolerancia se asocia con la exclusión de Na^+ y, a una mayor capacidad de absorción de K^+ ; en la cual, la capacidad de mantener una alta relación K^+/Na^+ está regida por la acción de genes aditivos y dominantes (Gregorio y Senadhira, 1993). Recientemente se encontraron QTL asociados a la absorción de K^+ y Na^+ y la selectividad K^+/Na^+ que podrían emplearse como marcadores en la mejora genética por tolerancia a salinidad (Flowers *et al.*, 2000;

Koyama *et al.*, 2001). Sin embargo, Bartels *et al.*, (1993), mencionan que el factor limitante en el uso biotecnológico para mejorar la tolerancia a estrés abiótico es precisamente la falta de conocimiento sobre los genes que puedan producir tolerancia.

Mejoramiento genético enfocado al estrés por sequía

Mejoramiento tradicional

Debido a la importancia del trigo en la alimentación y a su gran variabilidad genética, esta especie ha sido incluida en programas de mejoramiento con el fin de desarrollar genotipos mejorados para diversos ambientes. Una parte fundamental de este proceso es la evaluación de genotipos en ensayos comparativos de rendimiento. La selección de genotipos adaptados se dificulta por las interacciones entre genotipo (G) y medioambiente (M), cuya interacción complica la identificación de genotipos superiores, produciendo cambios en el ordenamiento de los genotipos en relación al rendimiento en los diferentes ambientes. Un genotipo con alto rendimiento potencial disminuye su rendimiento si se ve sujeto a estrés, pero en medioambientes de estrés moderado puede mantener un mayor rendimiento que un genotipo con bajo rendimiento potencial, (Acevedo y Fereres, 1993).

La resistencia a la sequía es una propiedad que caracteriza a ciertas especies o variedades permitiéndoles la adaptación a áreas bajo condiciones de déficit hídricos, ya sean permanentes o estacionales. Esta propiedad es el resultado de un proceso evolutivo que refleja una múltiple y compleja interacción de características fenológicas, morfológicas, fisiológicas y metabólicas que modulan el estado hídrico interno bajo condiciones edáficas y climáticas desfavorables.

Situación actual

En la última década, los investigadores en el mundo han acoplado con éxito la tecnología de marcadores moleculares, que permite una identificación más precisa de los rasgos deseados, con el fitomejoramiento clásico para producir más variedades tolerantes a la sequía. Por ejemplo, en Sudáfrica, el Ministerio de Agricultura anunció la liberación de maíz ZM521, que produce rendimientos hasta un 50 % más altos que en las variedades tradicionales bajo condiciones de sequía.

Dentro de las investigaciones dirigidas al desarrollo de variedades tolerantes a diversos tipos de estrés, como lo es la sequía, los científicos de la Universidad de Lleida (España), trabajan en el desarrollo de plantas genéticamente modificadas con mayor contenido de poliaminas, conocidas como reguladores del crecimiento y desarrollo de las plantas.

Los científicos trabajan con trigo, introduciéndole un gen de avena que codifica la enzima arginina decarboxilasa (ADC), teniendo la característica de presentar un contenido mayor de poliaminas, que el trigo convencional. Estudios revelan que estas moléculas están relacionadas con la resistencia al estrés abiótico, en particular de sequía y funciona como compuestos potenciales antioxidantes.

Sin embargo, los mecanismos por los cuales las poliaminas podrían conferir tolerancia al estrés es un asunto que aun ofrece numerosas dudas y por esta razón los científicos se han enfocado en esta investigación. Mientras que el desarrollo del trigo genéticamente modificado, podrá servir para investigar el papel que desempeñan las poliaminas en la resistencia al estrés ambiental y sentar las bases para poder obtener variedades con esta característica.

Heredabilidad

Heterosis

El término heterosis fue propuesto por G.H. Shull para describir el vigor híbrido que se presenta en generaciones heterocigotas, derivadas del cruzamiento entre individuos genéticamente diferentes (Shull, 1909) por lo cual, ha sido ampliamente utilizada en programas de mejoramiento de muchos cultivos para la identificación de poblaciones genéticamente divergentes como base para

el desarrollo de líneas endogámicas para ser usadas en cruzamientos F1 (Hallauer y Miranda, 1981).

No existe una teoría concluyente sobre la heterosis como agente causal del vigor híbrido (Birchler, Auger y Riddle, 2003). Para explicar el fenómeno de heterosis se han formulado varias teorías y posiciones al respecto: 1) teoría de dominancia; 2) teoría de sobredominancia; 3) teoría epistática; 4) teoría de la acción conjunta de la dominancia y sobredominancia (Allard, 1975). A las anteriores teorías se ha sumado también la metilación del ADN señalado por Tsaftaris *et al.* (1997).

La heterosis puede ser expresada de diferentes formas, dependiendo del criterio usado para comparar el comportamiento de un híbrido: a) heterosis media (con base al promedio de los progenitores), b) heterosis útil (con base al promedio de un testigo estándar comercial) y c) heterobeltiosis (con base al promedio del mejor progenitor).

Desde el punto de vista práctico, permite desarrollar híbridos deseables superiores a los genotipos comerciales existentes en los sistemas de producción actual. Alam *et al.* (2004) señalan que es mejor expresar la heterosis no solo en comparación con los valores parentales sino también con un buen genotipo testigo, dado que la heterosis en los cruzamientos de variedades poco productivas no tiene interés comercial. La expresión de la heterosis es menor en cruzamientos entre poblaciones de polinización abierta de base genética amplia.

Existiendo varias publicaciones que han señalado que el grado de endogamia, la dominancia unidireccional y la diversidad genética están estrechamente relacionados con la manifestación del vigor híbrido (Beck *et al.*, 1990, Crossa, Vasal y Beck 1990, Vasal *et al.* 1992; Rezende y Souza Jr. 2000).

Germinación de semillas

Concepto

La germinación de la semilla es un aspecto central de la fase regenerativa de las plantas de vital importancia para el mantenimiento y recuperación de sus poblaciones (Rees, 1997). Cada especie posee un determinado conjunto de condiciones que posibilita que se desencadene el proceso de germinación (Bewley & Black, 1986; Baskin & Baskin, 1998). En este sentido la temperatura, la luz y la humedad del suelo aparecen como los principales factores bioclimáticos reguladores de dicho proceso (Bewley & Black, 1986; Bell *et al.*, 1995; Pons, 2000; Probert, 2000). Este proceso se lleva a cabo cuando el embrión se hincha y la cubierta de la semilla se rompe. Para lograr esto, toda nueva planta requiere de elementos básicos para su desarrollo: luz, agua, aire y sales minerales que el vegetal encuentra en su entorno.

Efectos provocados por la salinidad

La salinidad es uno de los problemas ambientales más antiguos de la humanidad que limita la distribución de las plantas en la naturaleza y la productividad de los cultivos. González *et al.*, (1996), señalan que las plantas al ser sometidas a salinización son afectadas desde la germinación hasta estados más avanzados del desarrollo, en el caso de la semilla, esta reduce la velocidad de imbibición y por ende se presenta una disminución en la velocidad de la germinación, debido al efecto osmótico. Los procesos de división y alargamiento celular también pueden presentar alteraciones, así como la movilización de las reservas indispensables para que ocurra el proceso germinativo. Las sales actúan en forma tóxica antes que como estímulo de la germinación de la semilla. La acción tóxica del catión o del anión puede superar al efecto producido sobre la presión osmótica (Guerrier, 1981). Además, al bajar los potenciales hídricos (Ψ) en el suelo, las sales bajan la tasa, incluyendo la germinación total (Bradford, 1995).

Como resultado del estrés osmótico, las plantas pueden responder con un amplio rango de respuestas fisiológicas a nivel molecular, celular y de organismo. Estas incluyen, por ejemplo, cambios en el desarrollo y la morfología de las plantas (inhibición del crecimiento apical, incremento en el crecimiento de las raíces y cambios en el ciclo de vida), ajuste en el transporte iónico (concentración,

expulsión y secuestro de iones) y cambios metabólicos (metabolismo del carbono y la síntesis de solutos compatibles) (Hasegawa *et al.*, 2000).

Sin embargo, no todas las plantas responden de manera similar frente al estrés salino, y este hecho está relacionado con los distintos rangos de tolerancia que presentan los organismos vegetales a la salinidad. En algunas especies, la tolerancia a la salinidad en la germinación es independiente de la tolerancia registrada en la emergencia, crecimiento vegetativo, floración y fructificación. En trabajos realizados con papaya (*Carica papaya*), la germinación de las semillas fue afectada a niveles de salinidad superiores a 2dS.m⁻¹ aunque dependió de la variedad y del manejo de la fuente de la semilla. En la quinúa (*Chenopodium quinoa* Willd) se observó que al aumentar las concentraciones salinas, los porcentajes de germinación disminuyeron hasta un 87 % (Jacobsen *et al.*, 1996).

El porcentaje de germinación en pimentón se afectó de manera significativa cuando se regaron con concentraciones superiores a 100 mM de cloruro de sodio, pero el vigor fue afectado a niveles de salinidad menores al señalado (Smith *et al.*, 1991). Al examinar los efectos de las sales en la germinación como en los órganos de las plantas de tomates, la gran mayoría son adversos, pocos presentan un carácter positivo a medida que aumenta la concentración de sales en el medio, el porcentaje de germinación disminuye y el periodo en que este proceso se lleva a cabo se prolonga (Cuartero y Fernández-Muñoz, 1999; El-Habbasha *et al.*, 1996; Singer-SM, 1994; Foolad y Lin, 1997).

En estudios realizados en el Centro de Estudios Biotecnológicos de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, sobre tolerancia a la salinidad con *Stylosanthes guianensis* cv. CIAT-184, una leguminosa forrajera capaz de desarrollarse en suelos pobres y ácidos, considerada por algunos autores como moderadamente tolerante a la salinidad; las semillas de Stylo CIAT-184 fueron previamente esterilizadas y puestas a germinar en cámara húmeda con diferentes concentraciones de NaCl (control 0 mM, 10 mM, 20 mM, 40 mM, 60 mM, 80 mM y 100 mM).

Bajo las condiciones diseñadas el rango óptimo de germinación resultó ser entre 10-20 mM de cloruro de sodio. Este resultado pudiera estar dado por una entrada de iones sodio y cloruro hacia el interior de la semilla, creando un gradiente osmótico favorable para un proceso de imbibición más rápido y por tanto un mayor porcentaje de germinación.

Efectos provocados por estrés hídrico

La disponibilidad de agua es una condición esencial para la germinación de las semillas, ya que determina la imbibición y posterior activación de procesos metabólicos, como rehidratación, mecanismos de reparación (membranas, proteínas y ADN), elongación celular y aparición de la radícula (Dubreucq *et al.*,

2000), bajo condiciones naturales, las plantas deben sincronizar sus ciclos de crecimiento y reproducción con un adecuado abastecimiento hídrico (Foley & Fennimore, 1998). Esto es especialmente importante en ambientes desérticos, donde los eventos de lluvia son esporádicos o inexistentes.

La disponibilidad de agua durante el crecimiento de una planta afecta el desarrollo de sus semillas, alterando su capacidad germinativa positiva o negativamente (Pallas *et al.*, 1977; Banech *et al.*, 1992; Gutterman 2000), esto pareciera estar asociado con un alto grado de resistencia a condiciones de sequía, salinidad y temperatura extremas. Esta resistencia sería adquirida durante la formación de la semilla y afectada por las condiciones medio ambientales a la que es expuesta la planta (Pallais & Espinola 1992; Grossniklaus *et al.*, 1998;; Munir *et al.*, 2000; Galloway, 2001).

En un experimento realizado en *Lycopersicon chilense*, un grupo de plantas creció con buen abastecimiento hídrico y otro grupo fue sometido durante todo su desarrollo a condiciones deficitarias de agua. Se encontró que esta diferencia en la cantidad de agua a la que crecieron las plantas, tuvo efectos en el número de semillas germinadas y en el tiempo que demoran en germinar al ser sometidas a potenciales hídricos negativos y distintas temperaturas. Las semillas de plantas - H₂O germinaron más rápidamente que las semillas provenientes de plantas +H₂O al ser sometidas a distintas concentraciones de manitol. Sin embargo, en soluciones de NaCl la relación fue inversa a la que se encontró para manitol,

germinando primero las semillas de plantas +H₂O que las semillas de plantas -H₂O (Maldonado *et al.*, 2002).

En semillas de *Amaranthus retroflexus*, *Avena fatua* y *Sorghum bicolor* se encontró una disminución del contenido hídrico del suelo induciendo una germinación más temprana, mientras en otras especies como *Arachis hypogaea* y *Spergularia mariana* el déficit hídrico aumenta la latencia de las semillas (Pallas *et al.*, 1977; Chadoeuf-Hannel & Barralis, 1982; Peters, 1982; Sawhney & Naylor, 1982; Okusanya & Ungar, 1983; Benech *et al.*, 1992).

Estudios realizados en *I. nil*, indican que el estrés hídrico redujo y retardó significativamente la germinación, afectando además la elongación radical, pero obtuvo porcentajes de germinación superiores al 20 % en potenciales osmóticos de -1.0 MPa, en cambio durante el proceso de maduración de las semillas muestran que la tolerancia a la desecación es diferente entre las especies y depende principalmente de dos factores: la velocidad a la cual se produce la pérdida de agua y el contenido final de agua que queda en la semilla después del proceso de desecación (Hong & Ellis, 1992; Ellis & Hong, 1994; Wechsberg *et al.*, 1994; Hay & Probert, 1995).

Mejoramiento genético en el cultivo de Trigo

Avances del mejoramiento genético en México

El mejoramiento genético del trigo es un requisito para una agricultura moderna donde se incluya este cereal, ya que la liberación de nuevas variedades con mejores características agronómicas es indispensable para integrarlas en un plan exigente de rotaciones. En México las actividades sobre el mejoramiento genético de trigo iniciaron en 1945, con los objetivos de reducir los daños causados por las royas e incrementar el rendimiento medio, (Borlaug, 1969; Rodríguez, 1992) resultando en la liberación de las primeras variedades mexicanas en 1948, entre variedades introducidas y trigos criollos.

Los avances genéticos del mejoramiento de trigo en México han sido valorados en diferentes épocas y con diferentes enfoques. Por ejemplo, el incremento en el rendimiento medio nacional de 750 a 5500 kg ha⁻¹ en 50 años (Rodríguez, 2000); o avances genéticos sostenidos del 2.21% por año en el Noroeste de México sin aplicaciones de fungicidas para el control de las royas (Sayre *et al.*, 1998), así la recombinación genética ha sido bajo el esquema de hibridación, y se han realizado cruza simples, triples, dobles, fraternales y las retrocruzas, dependiendo del objetivo de cada recombinación (Maya, 1978).

El método de pedigrí se utilizó prácticamente hasta 1990, año en el que se sustituyó por el método de familias masivas F_3 , sobre todo por lo limitado de los recursos económicos. En la década de 1970, los enfoques de mejoramiento genético fueron orientados a la explotación de las cruzas de trigo de invierno con trigos de primavera, con el objetivo de incrementar el rendimiento en ambos tipos e incorporar en los trigos de primavera las características sobresalientes de los de invierno, como resistencia a sequía, mayor resistencia a enfermedades foliares y mayor tolerancia al frío (Rajaram y Hettel, 1995).

En el futuro se prevé mayor escasez de agua; ante esta problemática, el programa de trigo de riego del INIFAP en El Bajío, a través del mejoramiento genético, pretende incrementar el vigor inicial de las plántulas y el área foliar ambas características asociadas con eficiencia en el uso del agua (López-Castañeda y Richards, 1994).

Mejoramiento genético para la tolerancia a salinidad

Según el Informe Anual sobre la agricultura en 2003, existen evidencias de que el trigo es moderadamente tolerante a la salinidad, comportamiento que lo convierte en una opción sostenible para el aprovechamiento de las áreas afectadas por este tipo de estrés, a través de la implementación de las variedades de mayor grado de tolerancia y mediante el monitoreo de la tolerancia a la

salinidad en el germoplasma de trigo disponible, sobre la base de indicadores fenológicos y agrícolas, lo cual permitiría seleccionar el material vegetal con mayores perspectivas en áreas con esta condición estresante.

Mejoramiento genético para la tolerancia a sequía

Las zonas semiáridas están caracterizadas por una precipitación errática y limitada, lo que resulta en sequías durante la estación de crecimiento, donde los diferentes atributos agronómicos y fisiológicos han contribuido a la tolerancia a la sequía en las plantas y han sido empleados en la selección de genotipos tolerantes de trigo. La mayoría de los estudios sobre tolerancia a sequía en trigo se han concentrado en las fases de desarrollo tardío y en los períodos reproductivos, enfatizando las consecuencias del estrés sobre el rendimiento.

Sin embargo, la tolerancia debe incluir la habilidad de las semillas de germinar en condiciones limitadas de disponibilidad de agua, desde que el establecimiento exitoso y vigoroso de las plántulas contribuye indirectamente a mantener altos rendimientos, esto a partir de una población segregante donde se seleccionan genotipos con la habilidad para germinar bajo estrés osmótico y luego evaluar las plántulas selectas a campo comparándolas con aquellas no seleccionadas por tolerancia a nivel de semilla.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica del sitio experimental

El presente trabajo se realizó en el Centro de Capacitación de Tecnología de Semillas (CCTD) perteneciente al Departamento de Fitomejoramiento, en el Laboratorio de Ensayo de Semillas “MSc. Leticia A. Bustamante García”, ubicado en la ciudad de Saltillo, México y cuyas coordenadas son a los 25° 22 de Latitud N y 101° 00 de Longitud Oeste, con una altitud de 1742 msnm.

Descripción de materiales

Material vegetativo

Se utilizaron semillas de trigo de seis familias y sus progenitores, donde dos de ellos son variedades comerciales de dominio público, denominadas Pelón Colorado que es propia de la región norte y Candéal que es una variedad con características sobresalientes a condiciones de estrés sobre todo a sequía; así mismo dos son líneas experimentales, proporcionadas por el Programa de Cereales de la UAAAN y producidas en el ciclo Enero-Junio 2009 en la localidad Navidad Nuevo León. Las familias fueron el resultado de las respectivas cruces directas e identificando los materiales genéticos como se muestra en Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1 Identificación de las seis familias y sus progenitores de trigo (*Triticum aestivum* L.) estudiados.

Material genético	Identificación
Pelón Colorado	1
Candeal	2
AN-355-92	3
AN-351-92	4
AN-355-92 * P. Colorado	5
AN-351-92 * P. Colorado	6
P. Colorado * Candeal	7
AN-351-92 * Candeal	8
AN-355-92 * Candeal	9
AN-351-92 * AN-355-92	10

Tratamientos

Se emplearon dos tratamientos para inducir estrés, uno a base de Cloruro de Sodio (NaCl) para efecto de estrés salino a diferentes potenciales osmóticos a 150, 300, 450 y 500 mM y un Testigo a 0 mM (cero milimolar) y el otro con Polietilen-glicol con peso molecular 8000 (PEG 8000) para inducir estrés hídrico en cuatro potenciales hídricos a 1.5, -3.0 -5.0 y -10.89 bares, además de un Testigo absoluto.

Preparación de las concentraciones de NaCl y PEG 8000

Las cantidades de soluto requerido para la preparación de las diferentes concentraciones de NaCl y PEG 8000 disueltas en 200 ml de agua destilada, se presenta en el Cuadro 3.2.

3.2 Concentraciones de salinidad con NaCl y sequía con PEG 8000 y gramos de soluto utilizados.

Concentración (mM)	NaCl (g/200 ml)	Concentración (Bares)	PEG 8000 (g/200 ml)
150	1.755	1.5	14
300	3.510	-3.0	35
450	5.265	-5.0	40
500	5.850	-10.89	60

Variables evaluadas

Se realizó una evaluación inicial de los materiales en estudio para conocer su calidad física y fisiológica inicial de la semilla con la finalidad de que al aplicar el tratamiento de estrés se pudiera ver el efecto real del mismo. Donde la calidad física comprendió las pruebas de Contenido de Humedad (CH), Peso Volumétrico (PV), Peso de Mil Semillas (PMS), Pureza Física (PF), realizando tres repeticiones por material; y la calidad fisiológica que consistió en las pruebas de Capacidad de Germinación (PN, PA y SSG) y Vigor mediante un Primer Conteo (PC), Longitud Media de Plúmula (LMP) y Longitud Media de Radícula (LMR), evaluando cuatro repeticiones por cada material.

Una vez evaluada la calidad inicial, se procedió a la aplicación de los tratamientos salino e hídrico y determinar el efecto mediante las pruebas fisiológicas durante el estrés, considerando GF, PN, PA y SSG.

Calidad Física

Contenido de humedad (CH)

Se obtuvo por el Método Indirecto, utilizando el Motomco Modelo 919, pesando 250 g de muestra por cada material con tres repeticiones.

Procedimiento de uso del equipo:

1. Conectar a la corriente alterna, encender el aparato "ON".
2. Gire el botón de funciones a la posición "CAL" (calibración).
3. Gire la perilla hasta la línea roja a la lectura 53 del cuadrante.
4. Gire el botón hasta alcanzar la mínima posición posible en la escala.
5. Gire la perilla de funciones a la posición "OP" (operación).
6. Pese la cantidad de muestra indicada y colóquela en la tolva de llenado.
7. Descargue la muestra en el aparato.
8. Gire la perilla hasta alcanzar nuevamente la mínima posición posible.
9. Anote la lectura del cuadrante.

10. Transforme esta lectura en porcentaje de humedad, utilizando la tabla de conversión apropiada, no olvidando las correcciones por fabricación de lectura y temperatura para obtener la humedad correcta.

Peso de mil semillas (PMS)

Se contaron ocho repeticiones de 100 semillas tomadas al azar, pesando cada repetición en una balanza analítica de 0.0001 g de precisión para obtener un promedio general de cada material expresado en gramos (ISTA, 2006).

Peso volumétrico (PV)

Se utilizó un recipiente de volumen conocido sobre el cual se dejó caer la semilla eliminando el exceso haciendo zig-zag con ayuda de una regla y pesando la cantidad de semilla en una balanza granataria de 0.001 g de precisión, repitiendo el procedimiento tres veces por cada material y reportando los resultados en peso por hectolitro (Kg /HL), (Moreno, 1995).

Pureza Física

Se realizó mediante el principio de las reglas internacionales de la ISTA (2004) pesando 120 g de muestra de cada material en tres repeticiones; separando en los diferentes componentes Semilla Pura (SP) y Materia Inerte (MI),

donde el primer componente se clasificó en Semilla Pequeña (SPEQ) y Semilla Dañada (SDA) para expresar mejor el valor que presentaba dentro de esta variable, el resultado fue expresando en porcentaje.

Semilla pura (SP): Es la semilla de la especie especificada por el vendedor o que predomina en la muestra e incluye las variedades botánicas y mejoradas de esa especie. Es la cariósida o fragmento de la misma, cuyo tamaño sea superior a la mitad del inicial.

Semilla pequeña (SPEQ): Es aquella cariósida que se encuentra íntegra, pero su tamaño es inferior al de la semilla original (semilla inmadura).

Semilla dañada (SDA): Es aquella cariósida o fragmento de la cariósida superior a la mitad de su tamaño inicial y tiene daños por enfermedad visible (por ejemplo punta negra) o por insectos.

Materia inerte (MI): La materia inerte deberá incluir semillas que no sean definidas como puras, estructuras semejantes a semilla, tanto de cultivos como de hierbas, así como materia inerte:

- Pedazos de semillas (semillas puras u otras semilla), igual o menos de la mitad.
- Semilla dañada por insectos menos de la mitad.
- Basura.
- Paja.
- Insectos, etc.

Calidad Fisiológica

Capacidad de Germinación

Evaluación inicial. Se realizaron cuatro repeticiones por cada material mediante el principio dado por la ISTA (2006), colocando 25 semillas sobre un papel germinación “Anchor” húmedo, 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 Seedburo Germinator a 25°C con 8 horas luz y 16 horas de oscuridad. Se realizó un Primer Cuento (PC) a los cuatro días evaluando el número de plántulas normales considerado como vigor, seguido de otro conteo a los 7 días dado como conteo final determinando el número de Plántulas Normales (PN) y además, evaluando Plántulas Anormales (PA) y Semilla sin Germinar (SSG), descritos en el manual de la Association of Official Seed Analysis (AOSA, 1992).

Plántulas normales (PN): Aquellas plántulas que representan las estructuras esenciales bien desarrolladas e indicativas de su habilidad para producir plántulas normales bajo condiciones favorables (Moreno, 1996).

Plántulas anormales (PA): Son todas aquellas que no pueden ser clasificadas como normales por tener alguna deficiencia en el desarrollo de sus estructuras esenciales (Moreno, 1996).

Semilla sin germinar (SSG): Estas semillas se registran al final de la prueba. Fueron aquellas que presentaron incapacidad para germinar.

Vigor

Longitud media de plúmula (LMP)

Se realizó conforme a las reglas internacionales de la ISTA (2006) trazando líneas paralelas cada 2 cm a partir de la mitad del papel de germinación “Anchor”, en la primera línea se colocaron 25 semillas por repetición de cada material con ayuda de una cinta de doble pegamento, se humedeció el papel y se cubrió con otro, enrollando ambos para formar un “taco” identificados por número de repetición y material, se colocaron en bolsas de plástico de 1 kilogramo y posteriormente se llevaron a una cámara germinadora marca Seedburo Germinator a 25°C con 8 horas luz y 16 horas de oscuridad. Se evaluaron a los 7 días después de la siembra registrando el número de PN en cada paralela comenzando de la segunda línea, aquellas que estaban por arriba de 2 cm, representado la paralela 3. Posteriormente se calculo la variable con la siguiente fórmula:

$$LMP = \frac{(n*3)+(n*5)+(n*7)+(n*9)+(n*11)+(n*13)}{NPNT}$$

Donde:

LMP: Longitud Media de Plúmula.

n: Número de Plántulas Normales en ese paralelo.

NPNT: Número de Plántulas Normales Totales.

Longitud media de radícula (LMR)

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

Evaluación con los tratamientos. Se realizaron tres repeticiones por cada material y tratamiento, sembrando 50 semillas por repetición sobre papel filtro Watman No. 1, humedecido con el tratamiento y concentración correspondiente en cajas petri de vidrio de 18 cm de diámetro identificadas por repetición, material y concentración (potenciales osmóticos e hídricos); posteriormente se llevaron a una cámara germinadora marca Seedburo Germinator a una temperatura de 25 °C con 8 horas luz y 16 horas de oscuridad por 7 días evaluando PN, PA y SSG conforme al manual de la Association of Oficial Seed Analysis (AOSA, 1992). También se determinó la Germinación Fisiológica (GF) de los materiales con la aplicación de tratamientos, dada por la suma de las plántulas normales y anormales sin considerar las SSG. Posteriormente se seleccionaron las plántulas normales que presentaron un mejor desarrollo para ser trasplantadas, en charolas de polietileno de 200 cavidades utilizando peat moss como sustrato y llevadas a condiciones de invernadero. Una vez establecidas en charolas, se dejó que terminaran su ciclo de vida en el invernadero para obtener la semilla de las plántulas que habían sido seleccionadas durante la etapa de germinación.

Diseño experimental y análisis estadístico

En el presente trabajo se usaron técnicas estadísticas para el análisis de los diferentes parámetros, para la evaluación inicial de los materiales estudiados, se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones en las Pruebas de Calidad Física y cuatro en las Pruebas de Calidad Fisiológica, analizándose bajo el mismo modelo; mientras que para la aplicación de NaCl y PEG 8000 a diferentes potenciales (osmótico e hídrico), se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial (en cada tratamiento), con tres repeticiones considerando como factor A los potenciales y como factor B a los diez materiales genéticos, bajo el siguiente:

Modelo Estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + G_j + GC_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk}: Variable de respuesta del i – esimo material, en la j – esima dosis.

μ: Efecto de la media general.

C_i: Efecto del i – esimo potencial

G_j: Efecto de la j – esimo material.

GC_{ij}: Efecto de la interacción del i – esimo potencial por la j – esimo material.

E_{ijk}: Error experimental.

El análisis de la información se realizó como un diseño de parcelas divididas con anidamiento de los potenciales en cada tratamiento.

En cada análisis de varianza se realizaron pruebas de comparación de medias por la DMS (Diferencia Mínima Significativa) al 0.05 % en aquellas variables donde el análisis reportó diferencias estadísticas entre tratamientos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de las pruebas de calidad física y fisiológica iniciales y después de aplicar los diferentes potenciales de estrés con NaCl y PEG 8000 en este estudio se describen a continuación:

Calidad Física

Contenido de humedad

En el análisis de varianza (ANVA) se encontró que en la variable contenido de humedad existió diferencia altamente significativa entre los materiales estudiados, donde el coeficiente de variación fue de 0.939 %, como se muestra en el Cuadro 4.1.

En lo que respecta a la prueba de comparación de medias dado en el mismo cuadro, se obtuvo que las cruzas AN-355-92 * Candeal (Material genético 9) y AN-351-92 * AN-355-92 (Material genético 10) presentaron un contenido de humedad (CH) de 8.0 % formando el mismo grupo estadístico con el valor más alto, seguidos de AN-355-92 * Pelón colorado (5) y AN-351-92 * Candeal (8) con 7.8 % para ambos.

Cuadro 4.1 Cuadrados medios, significancia y comparación de medias en las variables evaluadas en la calidad física inicial de seis familias y sus progenitores de trigo bajo condiciones de laboratorio.

Fuentes de Variación		CH	PMS	PV	SP	SPEQ	SDA	MI
Genotipos		0.071**	13.989**	10.216**	56.633**	25.581*	8.290*	0.020**
Error		0.005	0.069	1.396	11.902	4.903	3.107	0.003
CV		0.939 %	0.779 %	1.662 %	3.737 %	49.539 %	56.616 %	46.947 %
Material genético		Comparación de medias de los genotipos						
Pelón Colorado	1	7.7 cd	35.9 a	72.0 ba	94.8 ba	2.6 cd	2.4 bdc	0.3 a
Candeal	2	7.6 d	32.2 d	71.8 ba	92.2 bc	5.3 cb	2.5 bdc	0.13 cb
AN-355-92	3	7.7 cd	35.8 a	72.7 a	96.1 ba	2.0 cd	1.7 dc	0.13 cb
AN-351-92	4	7.6 d	29.1 e	66.5 c	98.4 a	1.0 d	0.5 d	0.1 cbd
AN-355-92 * P C	5	7.8 cb	36.1 a	71.9 ba	91.7 bc	4.2 cbd	4.0 bac	0.1 cbd
AN-351-92 * P C	6	7.7 cd	32.7 c	70.1 b	88.4 dc	6.5 b	4.9 ba	0.2 b
P C* Candeal	7	7.6 d	34.7 b	70.3 b	91.3 bc	4.0 cbd	4.7 bac	0.0 e
AN-351-92 * Candeal	8	7.8 b	32.7 c	71.7 ba	94.4 ba	2.8 cbd	2.8 bdc	0.1 ced
AN-355-92 * Candeal	9	8.0 a	34.5 b	72.9 a	93.1 bac	5.0 cb	1.8 dc	0.03 ed
AN-351-92 * AN-355-92	10	8.0 a	34.3 b	70.9 ba	82.8 d	11.3 a	5.8 a	0.13 cb

** = Alta significancia al 0.01 de probabilidad; CH= Contenido de humedad; PMS= Peso de mil semillas; PV= Peso volumétrico; SP= Semilla Pura; SPEQ=

Semilla pequeña; SDA= Semilla dañada; MI= Materia inerte.

En el siguiente grupo estadístico formado por los progenitores Pelón colorado (1), AN-355-92 (3) y la cruce de AN-351-92 * Pelón colorado (6) con 7.7 % de CH y por último el grupo que resultó con los valores más bajos se encontraron los materiales Candéal (2), AN-351-92 (4) y Pelón colorado * Candéal (7), con 7.6 % (Cuadro 4.1).

Sin embargo, todos los valores obtenidos de CH se encontraron dentro de los recomendados para un buen almacenamiento y atributo de calidad física para su comercialización coincidiendo con Bonner *et al.*, (1994), quien recomendó almacenar semillas ortodoxas con contenidos de humedad de 5 a 8 %; y si las semillas llegan a CH por debajo de 5 % pueden tener problemas por desecación, y con más de 9 % podrían presentarse problemas por insectos y hongos, también puede ocasionar un exceso de temperatura en el almacenamiento debido a la respiración o llevar a la germinación de las semillas.

Peso de mil semillas (PMS).

En esta variable se encontró que las familias y sus progenitores resultaron tener diferencias altamente significativas entre ellos, presentando un coeficiente de variación de 0.779 %, según el Cuadro 4.1.

En el mismo cuadro se puede observar el resultado de la prueba de comparación, indicando que la variedad Pelón colorado (1) con 35.9 g, la línea experimental AN-355-92 (3) con 35.8 g y la cruce de ambos con 36.1 g presentaron los mayores pesos de mil semillas formando el primer grupo estadístico, expresando que existió una alta expresión de esta variable dentro de sus progenitores hacia su cruce. Las semillas más pesadas son más vigorosas que las demás, al tener reservas endospermicas, pero también necesitan más agua, lo que puede ser un problema si hay condiciones desfavorables.

Dentro del segundo grupo encontramos las cruces 7, 9 y 10 con 34.7, 34.5 y 34.3 g de PMS, también presentando altos valores heredados de sus progenitores, seguido de 6 y 8 con 32.7 g en ambos, y finalmente tenemos a Candeal (2) y AN-351-92 (4) con 32.2 y 29.1 g de esta variable (Cuadro 4.1), que expresan resultados de menor peso dentro del mismo grupo, mostrando al parecer que estos dos son de tamaño ligeramente pequeño, siendo más notorio en AN-351-92, el cual presenta una diferencia muy significativa comparada con el resto de los materiales. Varios autores mencionan que la reducción del PMS ha sido atribuida a una pérdida en la masa del grano, debido a un aumento en la respiración, cuando éste se desarrolla en condiciones de alta humedad y temperatura.

Peso volumétrico (PV).

En el Cuadro 4.1 se puede observar el resultado de esta variable, el cual mostró una diferencia altamente significativa entre las familias y sus progenitores, dando un CV de 1.662 %. Mientras que en la prueba de comparación de medias reflejó que el material 9 con 72.7 Kg/ HI mostró un mayor valor de PV, donde la cruce AN-355-92 * Candeal (9) superó en peso a su progenitor AN-355-92, el cual es el segundo en presentar el valor más alto, demostrando la existencia de heterosis, siendo el resultado de la cruce superior a uno o a ambos de sus progenitores. Seguido de los materiales 1, 2, 3, 5, 8 y 10 con valores de 72.7 a 70.9 Kg/ HI, dentro del mismo grupo estadístico.

En la misma prueba de medias (Cuadro 4.1), se muestra el segundo grupo estadístico donde se presentaron los mismos materiales a excepción de 3 y 9, incluyendo a 6 y 7, resultaron con valores desde 72.0 a 70.1 Kg/HI, en el último grupo se encuentra AN-351-92 (4) con 66.5 Kg/HI con el valor más bajo comparado con el resto de los materiales (mismo Cuadro). Una de las causas en la pérdida de peso volumétrico (PV) durante las cosechas retrasadas, es comúnmente atribuido a los cambios en la forma del grano o arrugamiento de la capa superficial, dando como resultado una reducción neta de su densidad o de su masa, pero en caso de los materiales estudiados no fue así, sino simplemente por las características de cada material genético.

Pureza Física

Semilla pura (SP).

En el ANVA resultante se mostró que hubo una diferencia altamente significativa, reportando un CV de 3.737 %. En el Cuadro 4.1 se presenta la comparación de medias, indicando estadísticamente que la línea experimental AN-351-92 (4), presentó mayor grado de pureza en las semilla con 98.4 % para el componente de semilla pura, seguido de los materiales 1, 3, 8 y 9 con valores de 96.1 a 93.1 % dentro del primer grupo estadístico. Mientras que en otro de los grupos formados se encuentran estos mismos incluyendo a 2, 5, 6 y 7 con valores que van de 93.1 a 88.4 % a excepción de 1, 3 y 8; y por último se tuvieron a 6 y 10 con 88.4 % y 82.8 % de pureza física en las semillas (Cuadro 4.1).

En lo que respecta a semilla pequeña resultante en el componente de semilla pura se declaró cual era la diferencia entre los materiales, ya que en el ANVA se encontró una diferencia significativa, con un CV de 49.539 % (Cuadro 4.1). En la prueba de comparación de medias dada en el mismo cuadro, se puede observar que el material que encabeza el primer grupo estadístico es AN-351-92 * AN-355-92 (10) que resultó con el mayor número de semilla pequeña con 11.3 %, lo cual puede indicar que esta cruce produce semilla pequeña, heredado por uno de los progenitores, recordando que AN-351-92 (4) resultó ser una semilla pequeña demostrado en PMS y PV, lo cual refleja que el carácter fue expresado en la cruce.

En el siguiente grupo estadístico se encontró la cruza 6 (AN-351-92 * Pelón colorado) con 6.5 % de SPEQ, demostrando que el carácter de semilla pequeña es heredada por AN-351-92 (4), haciendo más notorio que este progenitor es de alta expresión para esta variable, seguido de los materiales 2, 5, 7, 8 y 9 con valores de 6.5 a 2.8 %.

La tendencia en el siguiente grupo estadístico lo encabezan nuevamente los mismos materiales incluyendo 1 y 3, a excepción de 2 y 9 con valores de 5.3 a 2.0 % de SPEQ. El último grupo lo formaron los materiales 1, 3, 4, 5, 7 y 8 con valores de 4.2 a 1.0 % %, donde las líneas 3 y 4 resultaron con menor porcentaje de semilla pequeña con 2.0 % y 1.0 % (Cuadro4.1); cabe aclarar que la clasificación de semilla pequeña que se consideró en esta variable fue en relación al tamaño de la semilla de cada genotipo, es por ello que AN-351-92 resultó con menor número de semillas pequeñas aún por su tamaño reportado y confirmado en las pruebas de PMS y PV.

En la variable semilla dañada, se encontró diferencia significativa entre los materiales estudiados, con un coeficiente de variación de 56.616 % (Cuadro 4.1); mostrando que la cruza entre las líneas AN-351-92 * AN-355-92 (10) obtuvo un mayor porcentaje de daño con 5.8 %, seguido de los materiales 5, 6 y 7 con valores de 4.9 a 4.0 % quien también pertenece al siguiente grupo estadístico junto con los materiales 1, 2, 5, 6, 7 y 8 con un rango de 4.9 a 2.4 %.

Sin embargo, entre estos se formó otro grupo estadístico incluyendo a 3 y 9 con valores desde 4.7 a 1.7 %, al final los materiales 1, 2, 3, 4, 8 y 9 con valores de 2.8 a 0.5 % sobresaliendo las líneas 3 y 4 con 1.7 y 0.5 %, mostrando los porcentajes más bajos de semilla dañada.

Materia inerte (MI).

Para esta variable, se obtuvo una diferencia altamente significativa con un coeficiente de variación de 46.947 %, observado en el Cuadro 4.1; así como los resultados de la prueba de comparación de medias que muestra a la variedad Pelón colorado (1) con el mayor porcentaje de materia inerte con 0.3 %, esta variable está dada mayormente por restos de espiguilla y algo de tallo, que comercialmente se consideran como trazas y no es de pérdida comercial para el productor.

En el mismo cuadro, se observa el siguiente grupo estadístico con los materiales 2, 3, 4, 5, 6 y 10 con rangos de 0.2 a 0.1 %; algunos de estos forman nuevamente otro grupo descartando al 6 e incluido al material 8 con 0.1 % para todos.

Los materiales 4, 5, 8, y 9 con valores de 0.1 a 0.0 % forman otro de los grupos estadísticos; sin embargo, los dos primeros materiales (8 y 9) también se encuentran en el último grupo junto con 7, siendo estos los mejores materiales por presentar los valores más bajos de materia inerte, siendo su grado de pureza física el mejor como se mencionó anteriormente.

La diferencia durante las Pruebas de Calidad Física realizadas a los diferentes genotipos parece ser lo normal entre los materiales, ya que difieren en su composición genética; además, se están comparando y evaluando cuatro líneas endocriadas con sus respectivas cruzas, por lo que debido a la heterosis algunos de ellos presentaron valores más elevados en las características de calidad evaluadas.

Calidad Fisiológica

Las pruebas de calidad de la semilla buscan predecir la vida de almacenamiento de un lote de semillas o su calidad después de un periodo especificado, predecir la emergencia en campo después de la siembra y predecir el subsiguiente vigor de la plántula y el rendimiento final del cultivo (Ellis y Roberts, 1980); sin embargo, el estudio proporcionó información sobre la calidad

fisiológica específica de la posible herencia de los padres hacia las familias, obteniendo los siguientes resultados.

Capacidad de Germinación

Plántulas Normales (PN).

El ANVA resultante para esta variable mostrado en el Cuadro 4.2, reflejó una diferencia significativa entre los materiales estudiados y un CV de 4.3 %; en la prueba de comparación de medias formándose cuatro grupos estadísticos.

La línea experimental AN-351-92 (4), obtuvo el mayor porcentaje de plántulas normales con 100 %, aún a pesar de que la semilla es de tamaño pequeño, seguido de 1, 2, 5, 8 y 10 con valores desde 98 a 96 % formando el primer grupo estadístico; sin embargo, el segundo grupo fue dado en su mayoría por estos materiales anexando a 7 y 9 llegando hasta un 93 % en PN. En el Cuadro 4.2, se observa algo que todas las cruzas (5, 6, 7, 8, 9 y 10) formaron el siguiente grupo con valores de 96.0 a 93.0 %; y finalmente tenemos a los materiales 3 y 6 con 86.0 % y 91.0 % presentando los valores más bajos PN.

Cuadro 4.2 Cuadrados medios, significancia y comparación de medias en las variables evaluadas en las pruebas fisiológicas de semillas de seis familias y sus progenitores (UAAAN 2009).

Fuente de variación	Capacidad de germinación				Vigor		
	PN	PA	SSG	PC	LMP	LMR	
	%	%	%	%	Cm	Cm	
Genotipos	63.2*	8.7*	33.3*	33.3*	3.2*	4.7**	
Error	16.7	4.0	10.8	10.8	1.7	0.7	
CV	4.3 %	166.7 %	80.1 %	3.4 %	10.7 %	5.1 %	
Material genético	Comparación de medias de los genotipos						
Pelón Colorado	1	98.0 ba	0.0 c	2.0 dc	98.0 ba	11.7 b	15.3 ed
Candéal	2	97.0 ba	0.0 c	3.0 bdc	97.0 bac	12.0 b	17.7 a
AN-355-92	3	86.0 d	4.0 a	10.0 a	90.0 d	12.4 b	17.0 ba
AN-351-92	4	100.0 a	0.0 c	0.0 d	100.0 a	12.5 ba	15.8 bdc
AN-355-92 * P C	5	96.0 bac	1.0 bc	3.0 bdc	97.0 bac	12.4 b	17.1 a
AN-351-92 * P C	6	91.0 dc	3.0 ba	6.0 bac	94.0 bdc	11.4 b	14.4 e
P C* Candéal	7	93.0 bc	0.0 c	7.0 ba	93.0 dc	11.1 b	15.7 dc
AN-351-92* Candéal	8	96.0 bac	0.0 c	4.0 bdc	96.0 bac	12.3 b	16.9 bac
AN-355-92* Candéal	9	94.0 bc	2.0 bac	4.0 bdc	96.0 bac	14.4 a	17.6 a
AN-351-92*AN-355	10	96.0 bac	2.0 bac	2.0 dc	98.0 ba	12.3 b	16.9 bac

** = Alta significancia al 0.01 de probabilidad; PN= Plántulas normales; PA= Plántulas anormales; SSG= Semilla sin germinar; PC= Primer conteo; LMP= Longitud media de plúmula; LMR= Longitud media de radícula

Dentro de los progenitores fue notable la diferencia entre ellos, en donde las líneas mostraron los dos extremos en los valores generales, el mayor porcentaje dado por AN-351-92 (100 %) y el más bajo AN-355-92 (86 %), mientras que las variedades comerciales Pelón colorado y Candéal (98 y 97 % respectivamente) se ubicaron en el primer grupo de significancia. Sin embargo, es importante mencionar que en general todos los materiales estudiados obtuvieron valores aceptados en la comercialización de semillas, según la Nueva Ley de

Producción y Comercialización de Semillas (2009), la cual menciona que a través del Servicio Nacional de Inspección y Comercialización de Semillas (SNICS) organismo facultado, puede otorgar el permiso de comercialización de un lote semillas de cualquier categoría implicada, cuando ésta presente porcentajes de germinación con mínimo de 85 %.

Plántulas Anormales (PA).

En el mismo Cuadro 4.2 se presenta una diferencia significativa para esta variable, marcando que los materiales son diferentes entre ellos, con un coeficiente de variación de 166.7 % debido a que algunos presentaron valores de cero.

Los materiales que presentaron valores bajos en la variable anterior ahora mostraron lo contrario. Por ejemplo, AN-355-92 (3) ahora resulto ser de mayor valor con 4.0 %, esto no indica que sea el mejor, al contrario, pudiera existir un deterioro al presentar anomalías, le siguen los materiales 6, 9 y 10 con valores de 3.0 a 2.0 % que también presentan evidencia de tener un principio de deterioro. En otro de los grupos formados, están estos materiales incluyendo a 5 con rangos de 3.0 a 1.0 %.

Los materiales 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9 y 10 se encontraron en el mismo grupo estadístico con porcentajes que van desde 2.0 % a 0.0 %, todos ellos mostraron una mejor calidad por presentar muy bajo o nulo este porcentaje (Cuadro 4.2).

Semilla sin germinar (SSG).

El resultado del ANVA presenta un CV de 80.1 % con diferencias significativas en los materiales estudiados, mostrados en el Cuadro 4.2. Mientras que la prueba de comparación de medias dado en el mismo cuadro, muestra que nuevamente AN-355-92 (3) resultó con el mayor valor de semilla sin germinar con 10.0 %, representando el primer grupo estadístico, demostrando claramente que este progenitor tiene dos alternativas: se trata de una semilla con latencia o es una semilla en deterioro, según los valores dados en PN, PA y ahora en SSG.

Según se menciona, la germinación de las semillas depende de varios factores, algunos de ellos relacionados, tales como el ciclo biológico de las especies, el porte, el tamaño de las semillas, las variaciones diarias de la temperatura, la latencia, etc. (Thompson, 1973; Díaz Lifante, 1993). Otros materiales que formaron este primer grupo fueron 6 y 7 con 6.0 y 7.0 %, también forman parte del siguiente grupo 2, 5, 6, 7, 8 y 9 con valores de 7.0 a 3.0 %.

Otro grupo formado, siguen siendo los mismos incluyendo a los materiales 1 y 10 con valores de 4.0 a 2.0 %. Por último el mejor material resulto nuevamente la línea AN-351-92 (4), donde todas sus semillas germinaron (Cuadro 4.2).

Vigor

Primer conteo (PC).

Para esta variable se encontró una diferencia significativa en el ANVA y un CV de 3.4 %, dados en el Cuadro 4.2. En general, todos los materiales estudiados mostraron un buen vigor, ya que tuvieron valores por arriba del 90 %.

En la prueba de comparación de medias resultaron cuatro grupos estadísticos dados en el cuadro antes mencionado, donde AN-351-92 (4) solo presentó el mejor porcentaje (100 %) y encabezando el primer grupo, seguido de 1, 2, 5, 8, 9 y 10 con porcentajes 98 a 96 %. Los materiales anteriores formaron otro de los grupos incluyendo a 6 con 94.0 %, en otro resultaron los materiales 2, 5, 6 7, 8 y 9 con rangos de 97.0 a 93.0 %, mientras que para el último grupo estadístico se encontraron 3, 6 y 7 con 90.0, 94.0 y 93.0 %, mostrado en el mismo Cuadro 4.2; confirmando finalmente que la línea AN-355-92 (3) presentó algo de latencia.

Longitud media de plúmula (LMP).

En el Cuadro 4.2 para esta variable se aprecia que existió una diferencia significativa entre los materiales estudiados con un CV de 10.7 %. Encabezando la prueba de comparación de medias la cruza AN-355-92 * Candeal (9) sobresaliendo del resto con 14.4 cm de LMP, seguido de AN-351-92 con 12.5 cm; mientras que el resto de los materiales incluyendo a este, obtuvieron valores similares de 12.5 a 11.1 cm, formando el segundo grupo estadístico.

El material 7 (Pelón colorado * Candeal) presento el vigor más bajo con 11.1 cm; sin embargo, todas las familias generadas y los progenitores tienen valores de LMP con alto vigor como se puede observar en el cuadro antes mencionado. En el caso de AN-351-92 que resulto de baja capacidad de germinación, se observa que su vigor en la variable LMP no fue más bajo, lo que quiere decir, que la semilla presentaba algo de latencia, ya que cuando una semilla tiene deterioro, el vigor es el primer parámetro en disminuir.

Longitud media de radícula (LMR).

El coeficiente de variación resultante fue de 5.1 %, el cual se muestra en el Cuadro 4.2, así como la existencia de diferencias altamente significativas en los materiales evaluados.

Los materiales 2, 3, 5, 8, 9 y 10 con valores de 17.7 a 16.9 cm en la prueba de comparación de medias formaron un mismo grupo estadístico, donde 3, 4, 8 y 10 forman otro grupo con rangos de 17.0 a 15.8 cm. Se obtuvo otro grupo más incluyendo los materiales 1 y 7 con 15.3 y 15.7 cm respectivamente, por último 1 y 6 con 15.3 y 14.4 cm un grupo final y considerado con el más bajo vigor de LMR fueron

En el caso nuevamente de AN-351-92, forma el primer grupo estadístico, confirmando que la semilla presentaba algo de latencia. Además, que existen otros factores como los que presenta Perry (1980), quien observó que semillas más grandes produjeron raíces más grandes que las semillas pequeñas, o bien, que las plantas provenientes de semillas grandes, fueron más vigorosas que las plántulas provenientes de semillas pequeñas de la misma variedad, y también que al incrementarse el tamaño de la semilla se mejoró la germinación y por ende la emergencia.

Efectos del tratamiento con cloruro de sodio (NaCl)

Los resultados de los análisis de varianza de los materiales genéticos y los diferentes potenciales osmóticos con NaCl aplicados, mostraron diferencias

significativas en las variables GF, PA y SSG a excepción de la variable PN, que presento diferencias altamente significativas.

Entre los potenciales existieron diferencias altamente significativas en todas las variables y en la interacción materiales genéticos por potenciales, se presentaron diferencias altamente significativas en PN y PA, mientras que en GF y SSG no existieron diferencias (Cuadro 4.3), mostrando que existe gran variabilidad en la capacidad de germinación en las familias y sus progenitores estudiados durante la aplicación de diferentes potenciales osmóticos con NaCl.

En el Cuadro 4.3 se muestran los CV de cada variable, donde GF (germinación fisiológica) presento un coeficiente de variación de 14.2%, PN de 44.3%, PA de 21.3 % y SSG de 52.4% para los diferentes materiales estudiados en el experimento.

La variable germinación fisiológica (GF) expresa mejor el comportamiento de los diferentes materiales, ya que muestra el porcentaje final de germinación fisiológica.

Cuadro 4.3 Cuadrados medios, significancia y comparación de medias en las variables evaluadas mediante pruebas fisiológicas de seis familias y sus progenitores de trigo con diferentes potenciales osmóticos con NaCl (UAAAN 2009).

Fuentes de Variación		GF	PN	PA	SSG
Dosis		17996.2**	21865.3**	18224.7**	18109.4**
Genotipos		300.9*	185.215**	389.7*	299.9*
Genotipos * Dosis		183.1 ^{NS}	202.7**	413.1**	182.5 ^{NS}
Error		125.4	51.3	176.5	125.0
CV		14.2 %	44.3 %	21.3 %	52.4 %
Material genético		Comparación de medias de los genotipos			
Pelón colorado	1	89.2 a	18.9 ba	70.3 a	10.8 c
Candeal	2	79.4 bc	23.0 a	56.4 c	20.4 ba
AN-355-92	3	76.9 bc	16.5 bc	60.4 bc	23.1 ba
AN-351-92	4	75.1 bc	15.9 bc	59.2 bc	25.0 ba
AN-355-92 * P C	5	73.3 c	18.0 ba	55.3 c	26.7 a
AN-351-92 * P C	6	79.6 bc	12.1 cd	67.5 ba	20.4 ba
P C * Candeal	7	75.6 bc	15.2 bcd	60.4 bc	24.4 ba
AN-351-92 * Candeal	8	77.6 bc	16.7 bc	60.9 bac	21.7 ba
AN-355-92 * Candeal	9	82.0 ba	15.2 bcd	66.8 ba	18.0 bc
AN-351-92 * AN-355-92	10	77.2 bc	10.3 d	66.9 ba	22.8 ba

** = Alta significancia al 0.01 de probabilidad; GF= Germinación fisiológica; PN= Plántulas normales; PA= Plántulas anormales; SSG= Semilla sin germinar

El material que mejor porcentaje de GF presentó y formó el primer grupo estadístico es Pelón colorado (1) con 89.2 %, seguido de la cruce AN-355-92 * Candeal (9) con 82.0 %. Los materiales 2, 3, 4, 7, 8, 9 y 10 tuvieron valores de 75.1 a 79.6 % formando otro grupo. Sin embargo, estos mismos incluyendo a AN-355-92 * Pelón colorado (5) con 73.3 % forman el último de los grupos, con ello se puede observar que se trata nuevamente de una cruce con AN-355-92, quien

vuelve a manifestar su característica dominante con efecto negativo, aún a pesar de que la variedad Pelón colorado tuviera el mayor porcentaje de GF (Cuadro 4.3).

Las semillas que lograron obtener el mayor porcentaje de plántulas normales por la aplicación de diferentes potenciales osmóticos de NaCl, son posibles indicadores de características con tolerancia a la salinidad sobre todo en la fase de germinación a emergencia, que es cuando se requiere mayor establecimiento de plantas bajo condiciones críticas de salinidad o cualquier otro factor abiótico, simplemente por resistir a estas condiciones aún a pesar de que sea en un laboratorio. Por lo cual en la prueba de comparación de medias resultó que la variedad Candeal (2) obtuvo un 23.0 % de PN, siendo el mayor porcentaje entre los materiales genéticos estudiados, seguido de los materiales 1 y 5 con valores de 18.9 y 18.0 % formando el primer grupo estadístico.

Los materiales 1, 3, 4, 5, 7, 8 y 9 forman otro grupo con valores de 18.9 a 15.6 % de PN. En el Cuadro 4.3 se muestra un siguiente grupo considerando 3, 4, 7, 8 y 9 incluyendo a 6 con 12.1 %; y el último de los grupo esta formando con los materiales 6, 7, 9 y 10 con valores de 15.2 a 10.3 %; como se puede observar en el mismo cuadro, nuevamente las familias formadas por la línea experimental AN-355-92 muestra una vez más su característica dominante negativa; sin embargo,

la cruce de esta línea con Pelón colorado resultó de buena respuesta, indicando que en este caso no fue dominante.

En la prueba de comparación de medias resultante para PA, el material 1 (Pelón colorado) presentó mayor porcentaje de anormalidades con 70.3 %, seguido de 6, 8, 9 y 10 (valores de 67.5 a 60.9 %) dando el primer grupo estadístico, era de esperarse este comportamiento, ya que los materiales que reportaron los porcentajes altos en la variable anterior, ahora mostraron lo contrario, indicando que existió una susceptibilidad al estrés salino dado por el aumento de PA.

El siguiente grupo lo formaron los mismos materiales a excepción de Pelón colorado, incluyendo a 3, 4 y 7 con 60.4, 59.2 y 67.5 % (Cuadro 4.3). Mientras que en el último grupo estadístico se entraron los materiales 2 y 5 con valores de 56.4 y 55.3 % de PA. Lo anterior coincide con González *et al.*, (1996), quienes mencionan que los procesos de división y alargamiento celular también pueden presentar alteraciones, así como la movilización de las reservas indispensables para que ocurra el proceso germinativo dando lugar al aumento de anormalidades. Al igual que Hasegawa *et al.* (2000) que menciona que el resultado del estrés osmótico da una respuesta fisiológica amplia en las plantas a nivel molecular, celular y de organismo.

La cruz AN-355-92 * Pelón colorado (5) presentó el mayor porcentaje de semilla sin germinar con 26.7 %, seguido de los materiales 2, 3, 4, 6, 7, 8 y 10 dando un primer grupo estadístico con valores desde 24.9 a 20.4 %, otro de los grupos lo conforman estos materiales incluyendo a 9 con 18.0 %. Al final, el grupo representado por los materiales 1 y 9 (10.8 y 18.0 %). Este comportamiento se debe a que algunas especies vegetales, el estrés salino es más inhibitorio durante la germinación de la semilla que en algunas otras etapas del desarrollo (Bewley y Black, 1982; Mayer y Poljakoff-Mayber, 1982).

En general, las sales influyen sobre la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas en diferentes cultivos, pero se ha observado una gran variabilidad en su respuesta (Cristo *et al.*, 2001) lo que ha motivado el desarrollo de investigaciones para conocer el problema de cómo y en que etapa de desarrollo hay mayor tolerancia a la salinidad (Furatani *et al.*, 1985; González *et al.*, 1996).

Potenciales osmóticos con NaCl

La Figura 4.1, muestra el efecto promedio de los diferentes potenciales osmóticos de NaCl aplicados a los diferentes materiales, la variable GF mostró que a 0 mM (Testigo) se presentó el mayor porcentaje con 96.6 %, seguido de 150 y 300 mM con 95.8 y 92.0 % formando el primer grupo estadístico, mientras

que potenciales más altos (450 y 500 mM) se presentaron porcentajes con valores de 68.7 y 39.9 % para la variable germinación fisiológica.

A un potencial de 0 mM, la variable PN presentó el valor más alto con 62.3 %, seguida del grupo a 150 mM con 18.6 %, mientras que el resto de los potenciales osmóticos existió un nulo porcentaje (Figura 4.1). Estos resultados coinciden con los de Promila y Kumar (2000), quienes estudiaron la germinación de semilla y la elongación de la raíz de frijol mungo (*Vigna radiata* Wilczek) encontrando que la concentración de 180 mM de NaCl redujo la germinación de las semillas, aunque no impidió la emergencia de la radícula.

En la variable PA, el potencial osmótico a 300 mM presentó el mayor porcentaje con 92 % formando uno de los grupos estadísticos, seguido de 150 mM con 77.2 % en otro grupo. Mientras que a 450 mM con 68.7 % se encontró en otro grupo, y a potenciales osmóticos de 0 y 500 mM con 34.3 % y 39.9 % formaron el último grupo estadístico (Figura 4.1).

La variable SSG, presentó un mayor porcentaje a 500 mM con 60.1 %, en el primer grupo estadístico. En otro de los grupos formados, el potencial osmótico 450 mM resultó con 31.3 % de semilla sin germinar y, en el último grupo con menor potencial (0, 150 y 300 mM) se mostraron valores de 8.0 a 3.4 % de SSG, que era de esperarse, ya que en PN estas fueron las de mejor comportamiento.

(Figura 4.1) coincidiendo con trabajos encontrados por diferentes autores, quienes determinaron el efecto de diferentes niveles de salinidad (NaCl) sobre la germinación de semillas de maíz cv. Pioneer 3906, encontrando que la imbibición de agua a partir de los tratamientos de NaCl (50, 100 y 200 mM) resultaron en menos imbibición de agua que en las concentraciones más bajas de NaCl.

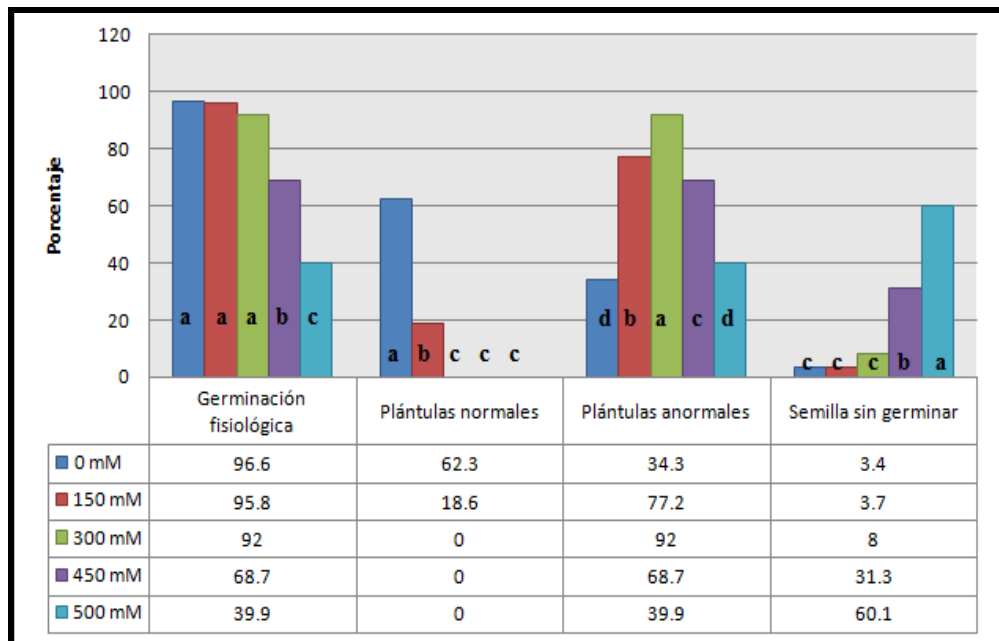


Figura 4.1 Comparación de medias con DMS de los diferentes potenciales osmóticos con NaCl en las pruebas de capacidad de germinación

Interacción genotipos por potenciales osmóticos con NaCl

En la Figura 4.2, se presentan las diferentes respuestas sobresalientes de los materiales genéticos y los diferentes potenciales osmóticos aplicados en el tratamiento con sal (NaCl), mostrando que evidentemente el no tener

concentración (testigo con agua) fueran una respuesta negativa en la germinación en la cruce de las líneas (10) con 36.7 % y un alto porcentaje en Candeal con 90.7 %; sin embargo, en la variedad Pelón colorado el potencial osmótico a 150 mM resultó tener una respuesta en la germinación de 32 % siendo superior a todos los materiales estudiados, mientras que al aumentar los potenciales la respuesta de la germinación fue nula.

Seguido de la variedad anterior, está la cruce AN-351-92 * Candeal con 31.3 %, donde el progenitor Candeal resultó con 24.3 %. Se puede observar que en el caso de la herencia a la tolerancia a salinidad en los potenciales osmóticos aplicados, los progenitores Pelón colorado y Candeal mostraron un reflejo en sus cruces dando valores de 18 %, reflejándose nuevamente la característica de dominancia en los hijos dada por las líneas experimentales, ya que sus cruces estuvieron siempre por debajo de ellas, pero no en todos los casos como fue la cruce AN-355-92 * AN-351-92 con 14.7 %; sin embargo, AN-351-92 * Candeal resultó con valores de 31.3 % y AN-355-92 * Candeal con 18.7%, donde la variedad Candeal mostró un carácter dominante sobre las líneas.

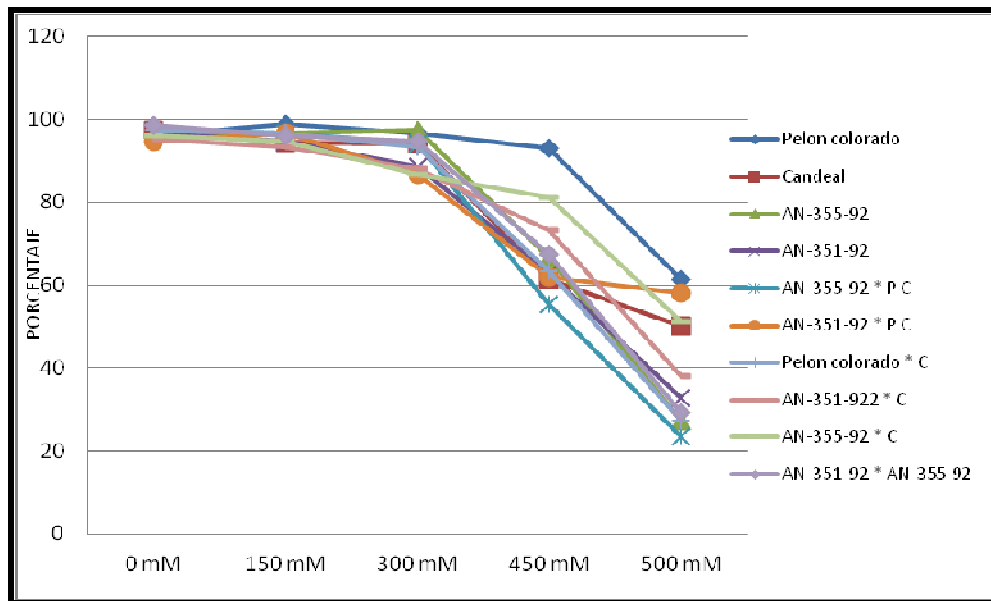


Figura 4.2 Respuesta de la capacidad de germinación en la interacción de materiales genéticos por diferentes potenciales osmóticos con NaCl.

Efecto del tratamiento con Polietilen-glicol 8000 (PEG 8000)

Los resultados obtenidos a diferentes potenciales hídricos de PEG 8000, mostraron diferencias altamente significativas en todas las variables GF, PN, PA y SSG entre los materiales genéticos, entre los potenciales aplicados y en la interacción materiales genéticos por potencial (Cuadro 4.4). Debido al nivel del porcentaje de germinación en la semilla, cuando es sometido a diferentes potenciales hídricos con polietilen-glicol, se vuelve un indicador de qué familias y cuáles son los progenitores que heredan las características de tolerancia en condiciones de sequía sugerido por diferentes autores (Wiggins y Gardner, 1959; Jackson, 1962; Parmar y Moore, 1968; Espinoza y Kuruvadi, 1985).

En el mismo Cuadro 4.4 se muestran los CV para cada una de las variables evaluadas, donde GF presentó un coeficiente de varianza de 7.9 %, PN un 53.3 %, PA un 32.6 % y SSG un 81.1 % para los diferentes materiales genéticos de trigo estudiados en el experimento.

En la prueba de comparación de medias, el material que mejor resultado presentó en la variable germinación fisiológica fue la variedad Pelón colorado con 97.2 %, manifestando el mismo comportamiento que en el tratamiento anterior, seguido de 2, 5, 7, 9 y 10 en el mismo grupo estadístico, observando que aparecen dos cruzas de esta variedad: AN-355-92 * Pelón colorado (96.7 %) y Pelón colorado * Candeal (92 %), donde también la variedad Candeal mostró a dos de sus cruzas, por lo tanto se puede observar la alta heredabilidad que manifiestan estos dos progenitores a su descendientes (Cuadro 4.4).

Formando otro grupo se presentan los materiales 2, 6, 7, 9 y 10 con valores de 94.8 a 90.3 % de germinación fisiológica, estos mismos a excepción de 2 y 10 incluyendo a 8 con 88.0 % están en otro grupo; sin embargo, los valores más bajos estuvieron en las líneas experimentales 3 y 4 con 85.2 % y 80.8 %, donde al igual que en el tratamiento anterior (NaCl), estas tuvieron el mismo comportamiento, por lo tanto resultaron con un carácter dominante, pero con un valor negativo.

Cuadro 4.4 Cuadrados medios, significancia y comparación de medias en las variables evaluadas mediante pruebas fisiológicas de seis familias y sus progenitores de trigo con diferentes potenciales hídricos de PEG 8000 (UAAAN 2009).

Fuentes de Variación		GF	PN	PA	SSG
Dosis		3637.1**	27100.6**	15725.9**	3637.1**
Genotipos		325.7**	2182.1**	1714.8**	325.7**
Genotipos* Dosis		220.4**	670.0**	1116.8**	220.4**
Error		51.6	304.6	363.0	51.6
CV		7.9 %	53.3 %	32.6 %	81.1 %
Material genético		Comparación de medias de los genotipos			
Pelón colorado	1	97.2 a	24.3 dce	72.8 a	2.8 e
Candéal	2	94.2 ba	60.3 a	33.8 e	5.8 ed
AN-355-92	3	85.2 ed	17.7 e	67.5 bac	14.8 ba
AN-351-92	4	80.8 e	28.2 dce	52.7 dc	19.2 a
AN-355-92 * P C	5	96.7 a	50.8 ba	45.8 de	3.3 e
AN-351-92 * P C	6	90.3 bdc	21.5 de	68.8 ba	9.7 bcd
P C * Candéal	7	92.0 bac	33.8 dc	58.2 bdac	8.0 ecd
AN-351-92 * Candéal	8	88.0 dc	24.5 dce	63.5 bac	12.0 bc
AN-355-92 * Candéal	9	92.3 bac	37.2 bc	55.2 bdc	7.7 ecd
AN-351-92 * AN-355-92	10	94.8 ba	29.0 dce	65.8 bac	5.2 ed

** = Alta significancia al 0.01 de probabilidad; GF= Germinación fisiológica; PN= Plántulas normales; PA= Plántulas anormales; SSG= Semilla sin germinar

Los materiales 2 y 5 con 60.3 y 50.8 % de plántulas normales están en el primer grupo estadístico, teniendo nuevamente el mismo comportamiento que en el tratamiento anterior (NaCl). El materiales 9 incluyendo 5, se encuentran en el siguiente grupo estadístico con un porcentaje de 37.2 % de PN (Cuadro 4.4).

Estos resultados muestran que AN-355-92 al ser cruzada, ya sea con Candeal o Pelón colorado resultan con mayor número de plántulas normales. Otro de los grupos lo conforman los materiales 1, 4, 7, 8, 9 y 10 con valores de 37.2 a 24.3 %. Mientras que estos mismos incluyendo 6 a excepción de la cruce Pelón colorado * Candeal (7) son otro grupo estadístico y AN-355-92 (3) con 17.7 % es el valor más bajo.

Es de notar que esta línea obtuvo nuevamente los porcentajes más bajos en la germinación; pero como se mencionó anteriormente, su comportamiento cambia al ser cruzada con las variedades, lo cual muestra que el carácter dominante sobre la resistencia a la sequía ahora lo establecen las variedades. Sin embargo, se puede mencionar que el tratamiento con manitol puede ser también otra prueba para identificar variedades resistentes a sequía mencionado por Kuruvadi (1988).

El material que presentó mayor porcentaje de plántulas anormales con 72.8 % fue Pelón colorado al igual que en los resultados obtenidos con potenciales osmóticos inducidas con NaCl, seguido de 3, 6, 7, 8 y 10 formando el primer grupo estadístico (Cuadro 4.4). Mientras que estos mismos incluyendo a 9 con 5.2 % representan el siguiente grupo, los materiales 3, 4, 7, 8 y 9 con valores de 67.5 a 52.7 % son otro de los grupos formados; sin embargo, 4, 5, 7 y 9 con rangos de

58.2 a 45.8 % incluyendo a Candeal (2) con 33.8 % son los valores más bajos de la variable plántulas anormales.

La línea experimental AN-351-92 (4) presenta el mayor porcentaje de semilla sin germinar con 19.2 %, seguido de AN-355-92 (3) con 14.8 % para esta variable y encabezando uno de los grupos estadísticos formados. Los material 6 y 8 incluido la línea anterior, se encuentra en el siguiente grupo estadístico, mientras que 6, 7, 8 y 9 con valores de 12.0 a 7.7 % están en otro de los grupos formados, de igual forma estos mismos materiales incluyendo a 2 y 10 con 5.8 y 5.2 % a excepción de AN-351-92 * Pelón colorado (6) (Cuadro anteriormente mencionado), se encuentran en otro de los grupos y con los valores más bajos 1 y 5 con 2.8 % y 3.3 %.

Potenciales hídricos con PEG 8000

En la Figura 4.3, se muestra el efecto promedio de los diferentes potenciales hídricos de PEG 8000 aplicadas a los diferentes materiales genéticos, donde la variable GF a -3.0 bares mostró un porcentaje de 97.2 %, seguido de 0 (Testigo), 1.5 y -5.0 bares con 96.6, 97.1 y 95.7 % dentro del mismo grupo estadístico y con 74.7 % esta el potencial hídrico de -10.89 bares.

En la variable PN a 1.5 bares, fue el más alto con un 70.9 % seguido del testigo (0 Bares) formando el primer grupo estadístico. Mientras que a -3.0 bares con 39.1 % es otro de los grupo. Sin embargo, los valores más bajos fueron a -5.0 y -10.89 bares; coincidiendo con Parera y Cantliffe (1994), quienes mencionan que al acondicionar la semilla con potenciales bajos permite obtener una germinación más rápida; así como Marín *et al.*, (2007) quienes al acondicionar semilla de tomate de cáscara, a -15 atm, obtuvieron el mayor porcentaje de germinación, además de lograr 50 % de germinación en el período más corto; sin embargo, esto difiere de lo registrado por Tetepa (1997) quien obtuvo resultados positivos con potenciales más altos (0 y -5 atm).

En la variable PA, los potenciales hídricos más altos (-5.0 y -10.89 bares), presentaron el mayor porcentaje con 74.7 % para ambos, en el primer grupo estadístico. A -3.0 bares con 58.1% se encuentra otro de los grupos formados, seguido de 0 y 1.5 bares de plántulas anormales, los cuales fueron encontrados al final de los grupos, como era de suponerse (Figura 4.3).

En la variable SSG con el potencial hídrico de -10.89 bares presentó el mayor porcentaje con 25.3 % encabezando el primer grupo estadístico, seguido del resto de los potenciales cuyos valores fueron de 4.3 a 2.8 %, siendo el último el testigo (0 Bares). Estos resultados difieren en lo encontrado por Hurd (1974), quien estudió algunas variedades de trigo aplicando soluciones de manitol de -20

atmósferas (-2.027 MPa) obteniendo valores de germinación desde 3 hasta 49 %; y en el caso de emergencia de canola como lo evaluó Dowling (1996), aplicando tres niveles de potencial hídrico encontró valores de emergencia de 90 % a 0 MPa.

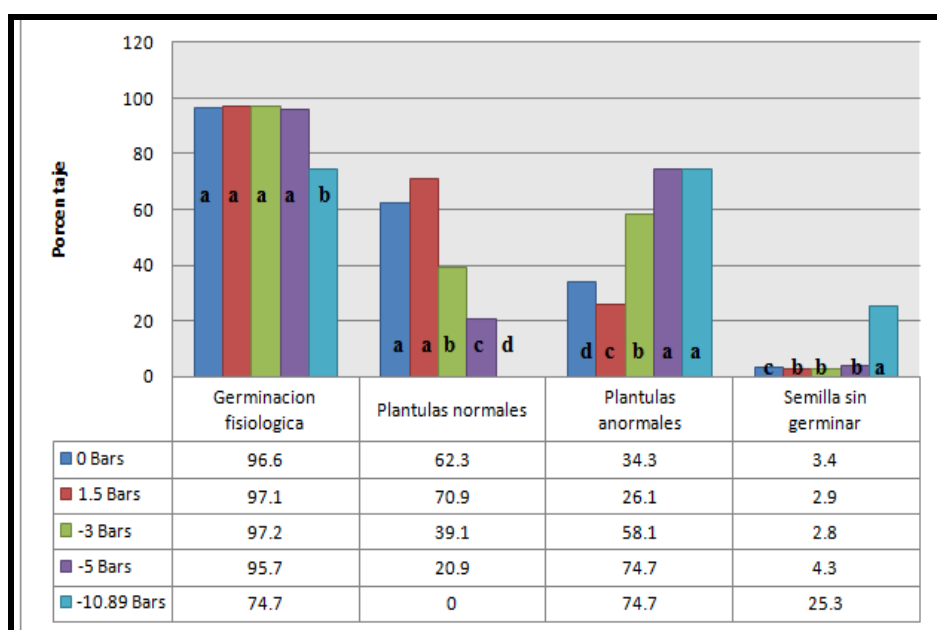


Figura 4.3 Comparación de medias con DMS de los diferentes potenciales hídricos con PEG 8000 en la pruebas de capacidad de germinación.

Interacción genotipos por potenciales hídricos con PEG 8000

En la Figura 4.4, se presentan las diferentes respuestas sobresalientes de los materiales genéticos y los diferentes potenciales hídricos aplicados con Polietilen-glicol (PEG 8000), mostrando que la variedad Candeal (90.7 %) sin

potencial hídrico (testigo con agua) obtuviera una respuesta positiva de germinación, seguido de la cruce AN-355-92 * Pelón colorado (con 84 % de PN), así mismo AN-355-92 (con 70.7 % de PN), donde se puede apreciar que ahora esta línea tuvo un comportamiento favorable al cruzarla con el material 1, siendo este progenitor el siguiente con 62.7 %, mientras que la cruce entre las líneas (10) presentó un 36.7 % de PN manifestando una respuesta negativa, tal como se ha estado mencionando, esta cruce no es sobresaliente del resto (Figura 4.4).

Nuevamente AN-355-92 * Pelón colorado a un potencial hídrico de 1.5 bares mostró un valor más alto con 92.7 %, siendo superior a todos los materiales estudiados. La variedad Candeal y la cruce AN-355-92 * Candeal obtuvieron valores de 90 % en PN para ambos; mientras que AN-351-92 * Pelón colorado obtuvieron un 74.7 % de PN, comparando este resultado con la cruce de esta línea con Candeal (8) se presentó una baja germinación de 54.7 %.

Al aumentar el potencial hídrico a -3.0 bares, la respuesta de la germinación fue decayendo, donde la variedad Candeal sobresalió con un 88.7 % de germinación, seguido de AN-355-92 * Pelón colorado con 82 %; además de que AN-351-92 * Pelón colorado y AN-355-92 fueron las que presentaron los porcentajes más bajos con 6.0 y 9.3 %, recordando que 6 (AN-351-92 * Pelón colorado) tuvo un buen comportamiento en el potencial hídrico anterior al igual que AN-355-92; esto nos muestra que esta línea experimental puede elevar su

tolerancia al ser cruzada con Pelón colorado dando valores superiores a sus progenitores, AN-355-92 * Pelón colorado a potenciales hídricos de -3.0 bares obtuvo valores de 82 % de germinación, la cual puede ser considerada como una cruce tolerante a la sequía, en el caso de -5.0 bares como se muestra en la Figura 4.4, Candeal fue superior al resto de los materiales genéticos estudiados con 62.7 %, mientras que las líneas (3 y 4) y AN-351-92 * Pelón colorado (6) obtuvieron valores de 2.0 a 0.0 % de germinación, lo cual muestra que al aumentar los potenciales hídricos como lo fue a -10.89 bares, no se presentaron germinaciones en los materiales.

La variedad Candeal, aunque mostró una buena respuesta en la germinación a 1.5, -3.0 y -5.0 bares, no pudo transmitir su carácter de tolerancia a sus respectivas cruces, ya que como se menciono anteriormente esta variedad es considerada como tolerante a sequía. En el caso de AN-355-92 y AN-351-92 * Pelón colorado, a pesar de no tener valores altos en su germinación a -3.0 y -5.0 bares, se observó nuevamente la herencia del carácter negativo dominante (Figura 4.4).

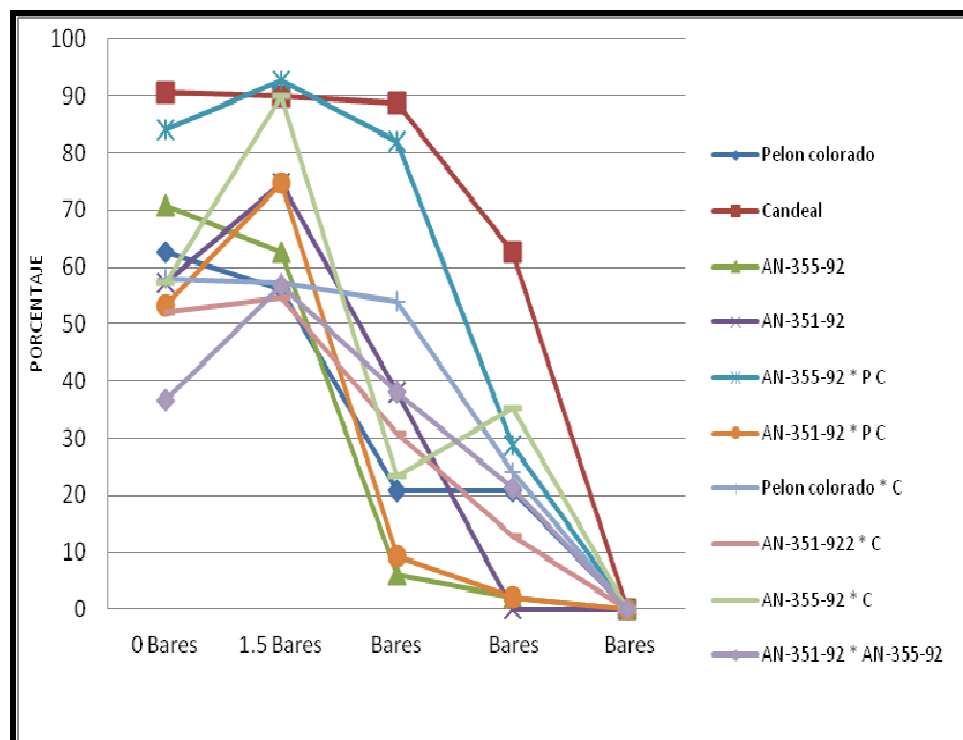


Figura 4.4 Respuesta de la capacidad de germinación en la interacción de materiales genéticos por diferentes potenciales hídricos con PEG 8000

Efecto de los tratamientos en la Calidad Fisiológica

Como se puede observar en el Cuadro 4.5, el efecto de los tratamientos sobre las familias y sus progenitores, se encontraron diferencias en las variables; sin embargo, el porcentaje de plántulas normales se encontró diferencia altamente significativa. En lo que respecta a la interacción entre materiales genéticos y tratamientos aplicados, en el ANVA no se encontraron diferencias significativas en las variables.

Cuadro 4.5 Cuadrados medios, significancia y comparación de medias de NaCl y PEG 8000 en seis familias y sus progenitores de trigo (UAAAN 2009).

Fuentes de Variación	GI	GF	PN	PA	SSG
Genotipos	9	433.7**	1446.4**	1593.7**	430.9**
Tratamientos	1	10511.3**	18267.5**	1064.9*	10366.7**
Genotipos*Tratamientos	9	192.8*	920.9**	510.7*	194.6*
EE (a)	18	94.9 ^{NS}	180.7 ^{NS}	265.4 ^{NS}	94.7 ^{NS}
Dosis/Tratamientos	7	11842.3**	24109.0**	17153.8**	11907.0**
Genotipo*Dosis/Tratamiento	63	199.1**	403.0**	714.7**	198.7**
Error experimental	162	92.3	162.0	258.7	92.1
CV		11.4 %	54.1 %	26.5 %	60.8 %
Comparación de medias de los tratamientos					
NaCl		78.6 b	16.2 b	62.4 a	21.3 a
PEG 8000		91.1 a	32.7a	58.4 b	8.8 b

** = Alta significancia al 0.01 de probabilidad; GI=Grados de libertad; GF= Germinación fisiológica; PN= Plántulas normales; PA= Plántulas anormales; SSG= Semilla sin germinar

En la prueba de comparación de medias resultante en los dos tratamientos aplicados, se observó que PEG 8000 en la variable PN presentó mayor porcentaje con 32.7 % mostrado en el Cuadro 4.5, mientras que en las variables PA y SSG resultó con bajos valores de 62.4 % y 21.3 %; en lo que se refiere a GF, este mismo tratamiento obtuvo un valor superior con 91.1 %, lo cual puede indicar que en general, los materiales tienden a ser tolerantes a efectos provocados por sequía; sin embargo, no se puede asegurar que este comportamiento sea el mismo en campo.

En el caso del tratamiento con NaCl, en general resultó con baja germinación y por tanto altos valores en plántulas anormales y aún en semilla sin germinar por consecuencia baja calidad fisiológica en todos los materiales.

Materiales genéticos a través de tratamientos con NaCl y PEG 8000

En la comparación de medias (Cuadro 4.6), se encontró que la variedad Pelón colorado (1), sobresalió con la mayor germinación fisiológica colocándose en el primer grupo estadístico con 92.7 %, dado que por su alto valor fisiológico pudiera ser tolerante a estos dos tipos de estrés (hídrico y salino). El siguiente grupo lo forman los materiales 2, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 con porcentajes desde 86.6 a 82.2 %, estos valores de germinación fisiológica están considerados de alta calidad, pero hay que recordar que no son para cuestión de comercialización, ya que se está tomando en cuenta a las plántulas anormales; es de resaltar que las cruces que conforman a la variedad Pelón colorado resultaron en este grupo (5, 6 y 7), lo cual puede indicar que este progenitor tiene alta heredabilidad en sus descendientes, también es de notar que la variedad Candeal (2) tuvo el mismo efecto en sus cruces (7, 8 y 9), solo que sus porcentajes son menores.

Por último se tiene que la cruce entre las líneas (10) se encontraron en este grupo con 66.4 %; sin embargo, nos muestra que los tratamientos no afectaron por completo a los materiales.

De igual forma estos se encontraron en otro grupo estadístico a excepción de 2 y 9, pero se incluyo a AN-355-92 (3) con 80.6 % (Cuadro 4.6); para el último grupo estadístico también fue considerada esta línea junto con AN-351-92 (77.6 %) y AN-351-92 * Candeal (8).

Las líneas experimentales no tuvieron una buena respuesta fisiológica en los tratamientos aplicados; además, es de suponerse que AN-351-92 está marcando una característica dominante negativa sobre sus cruza, dando bajos porcentajes de GF.

Cuadro 4.6 Grupos de significancia de comparación de medias de los genotipos de trigo a través de tratamientos con NaCl y PEG 8000 en las variables evaluadas (UAAAN 2009).

Material genético		GF	PN	PA	SSG
Pelón colorado	1	92.7 a	21.3 dce	71.4 a	7.3 d
Candéal	2	86.0 b	39.6 a	46.4 f	13.9 c
AN-355-92	3	80.6 cd	17.0 de	63.6 bdac	19.4 ba
AN-351-92	4	77.6 d	21.3 dce	56.3 de	22.4 a
AN-355-92* P C	5	83.7 cb	32.6 b	51.1fe	16.3 bc
AN-351-92 * P C	6	84.4 cb	16.3 e	68.1 ba	15.6 bc
P C * Candéal	7	82.9 cb	23.5dc	59.4 dec	17.1 bc
AN-351-92 * Candéal	8	82.2 cbd	20.1dce	62.1 bdc	17.4 bac
AN-355 * Candéal	9	86.6 b	25.0 c	61.6 bdc	13.4 c
AN-351-92 * AN-355-92	10	85.0 cb	18.6 dce	66.4 bac	15.0 bc

GF= Germinación fisiológica; PN= Plántulas normales; PA= Plántulas anormales; SSG= Semilla sin germinar

Dentro de la prueba de comparación de medias en la variable PN, se encontró que Candéal (2), presentó un mayor porcentaje con 39.6 % promedio de los tratamientos formando el primer grupo estadístico, seguido de AN-355-92 * Pelón colorado (5) con 32.6 % (Cuadro 4.6).

En el mismo cuadro se muestra que 1, 4, 7, 8, 9 y 10 constituyeron el siguiente grupo donde AN-355-92 * Candeal (9) presentó el valor mas alto con 25.0 % y AN-351-92 * AN-355-92 (10) el mas bajo con 18.6 %; un siguiente grupo lo formaron los mismos materiales incluyendo la línea experimental AN-355-92 con menor porcentaje (17.0 %), el último grupo lo conformaron los materiales 1, 3, 4, 6, 8 y 10 (valores de 21.3 a 16.3 %), donde evidentemente esta última crusa fue quien obtuvo el menor valor en la germinación con 16.3 %.

Es necesario comentar que en este último grupo lo conforma en su mayoría al menos una de las líneas como es AN-351-92, además de ella misma; lo cual indica que no tiene una respuesta positiva a los tratamientos, dando a notar que no tiene tolerancia a estos tipos de estrés. En el mismo cuadro se muestra que existe un efecto de herencia entre las familias, sobresaliendo la variedad Candeal (2), donde sus cruza se encontraron con valores medios de 24.9 a 20.1 %, mientras que en Pelón colorado, dos de sus cruza mostraron porcentajes superiores a él a excepción de AN-351-92 * Pelón colorado (6).

En la variable PA, la interacción tratamientos por materiales genéticos mostró que Pelón colorado (1) presentó el mayor porcentaje de anomalías con 71.4 %, era de esperarse, ya que los materiales que resultaron con valores bajos en la variable anterior ahora mostraron lo contrario, donde Candeal (2) obtuvo el menor porcentaje (46.4 %) y fue el mayor de PN (39.6 %); AN-355-92

(3) con 63.6 % de PA y AN-351-92 * Pelón colorado (6) que había tenido el menor porcentaje de PN presenta un 68.1 % de PA y la cruza de las líneas (10) con 18.6 % de PN, obtuvo en esta variable un 66.4 %.

Estadísticamente en la comparación de medias se mostró que 1, 3, 6 y 10 fueron los de mayor porcentaje de anormalidad, seguido de 3, 6, 8, 9 y 10 con valores desde 68.1 a 61.6 % formando otro grupo estadístico. Para el siguiente grupo se incluyó la cruza Pelón colorado * Candeal (7) con 59.4 % por ser el de menor valor, en otro grupo están los materiales 3, 4, 7, 8 y 9 donde este último resulto con 56.3 % para esta variable. Mientras que en el último grupo se encontraron 2 y 5 con 46.4 % y 51.1 %.

En lo que respecta a la comparación de medias en SSG, en el primer grupo estadístico resultaron AN-351-92 (4) con 22.4 % y AN-355-92 con 19.4 % como era de esperarse presentaron los más altos valores seguido de 8 (AN-351-92 * Candeal) con 17.4 % siendo nuevamente la línea la que marca la característica de dominancia en la cruza. La mayoría de los materiales se encuentran en otro grupo estadístico formado con los materiales 3, 5, 6, 7, 8 y 10 con porcentajes que están entre 19.4 y 15.0 % de SSG.

V. CONCLUSIONES

Derivado de los resultados obtenidos se concluye que:

- ✚ La calidad física y fisiológica inicial de los genotipos evaluados fue alta.
- ✚ La línea AN-355-92 obtuvo la mejor calidad física por sus valores más altos en peso de mil semillas, peso volumétrico y el porcentaje de semilla pura, así como el menor porcentaje de semillas pequeñas y dañadas; siendo una semilla de buen peso, homogénea y limpia, seguida de AN-351-92 en pureza física con mayor porcentaje de semilla pura y menor en semilla pequeña y dañada; así como la cruza AN-355-92 * Candeal con mayor grado de pureza física y peso volumétrico.
- ✚ La línea AN-351-92 obtuvo la mejor calidad fisiológica en la capacidad de germinación con los valores más altos en plántulas normales y bajos en plántulas anormales y semillas sin germinar, seguido de Pelón Colorado y Candeal en el porcentaje de germinación.
- ✚ En las pruebas de vigor, los mejores materiales en el primer conteo fueron AN-351-92, Pelón colorado y la cruza de ambos (AN-351-92*Pelón colorado).

- ✚ En la longitud media de plúmula, AN-355-92* Candeal fue mejor, así como en la longitud media de radícula, la variedad Candeal y su cruce con AN-355-92.
- ✚ En general los materiales genéticos estudiados mostraron mayor respuesta al estrés hídrico con PEG 8000 que a estrés salino con NaCl, sugiriendo una posible susceptibilidad a la salinidad.
- ✚ Se presentaron germinaciones a potenciales osmóticos superiores a 300 mM; pero Pelón colorado y Candeal obtuvieron la mejor respuesta de germinación al estrés salino a 150 mM obteniendo los valores más altos en el porcentaje de plántulas normales, seguidos de la cruce AN-351-92* Candeal en la misma dosis.
- ✚ La variedad Candeal obtuvo la mejor respuesta en la germinación con la aplicación con PEG 8000 en todos los potenciales hídricos indicando su tolerancia a sequía; seguido de la cruce AN-355-92 * Pelón colorado en los potenciales 0, 1.5 y -3.0 bares; además de AN-355-92* Candeal y AN-351-92 en el potencial de 1.5 bares.

VI. LITERATURA CITADA

- Alam, M. F., Khan, M. R., Nuruzzaman, M., Parvez, S., Swaraz, A. M., Alam, I. and Ahsan, N. 2004. Genetic basis of heterosis and inbreeding depression in rice (*Oryza sativa* L.). Journal Zhejiang University Science. Vol. 5, no. 11; p, 406-411.
- Allen, S.G., A.K. Dobrenz, M.H. Schonhorst y J.E. Stoner. 1985. Heritability of NaCl tolerance in germinating alfalfa seeds. Agronomy Journal 77:99-101.
- Allard, R. 1975. Principios de la mejora genética de las plantas. 2 ed. Barcelona: Omega. 498 p.
- Ando, T., Y. Masoka y K. Matsumoto. 1985. Interspecific differences in sodium accumulation and requirement among forage crops. Soil Science and Plant Nutrition 31:601-610.
- Ashraf, M. 1994. Breeding for salinity tolerance in plants. Critical Reviews in Plant Science, 13: 17-42.
- Association of Oficial Seed Analysts (AOSA) 1992. Seedling evaluation handbook. Contribution No. 35 The Handbook of oficial Seed. United Status of America. 76- 80 p.
- Avecedo, E. y Fereres, E. 1993. Resistencia al estrés abiótico. En: Reproducción de Plantas: principios y perspectivas (ed. por Hayward, M. D;

Bosemark, NO, Romagoza, I.). Londres, Reino Unido, Chapman and Hall Ltd, 406-421.

- Bartels, D., Alexander. R., Shneider. K., Elster R., Velasco R., Alamillo. J., Bianchi. G., Nelson. D., and Salamini, F. 1993. Desiccation related gene products analysed in a resurrection plant and in barley embryos. In *Plant Responses to Cellular Dehydration during Environmental Stress: Current Topics in Plant Physiology* (eds Close, T. J. and Bray, E. A.), An American Society of Plant Physiologist Series, Rockville, Maryland, pp. 119–127.
- Baskin, C.C. and J.M. Baskin, 1998. Seed. Ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination. San Diego, Academic Press. 666 p.
- Beck, D. L., Vasal, S. K. and Crossa, J. L. 1990. Heterosis and combining ability of CIMMYTs tropical early and intermediate maturity maize germoplasm. *Maydica*. Vol., 35; p. 279-285.
- Bell, D.T.; D.P. Rokich, C.J. McChesney and J. Plummer 1995. Effects of temperature, light and gibberellic acid on the germination of seeds of 43 species native to Western Australia. *Journal of Vegetation Science* 6: 797-806.
- Bernstein, I.; Ayers, D. D. 1953. Salt tolerance of five varieties of carrots. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 61:360-366.

- Bewley, J. D.; Black, M. 1982. Physiology and biochemistry of seed in relation to germination. V. 2. Viability, dormancy and environmental control. Berlin, Springer – Verlag. 375 p.
- Bewley, J. and M. Black, 1994. Seeds: Physiology of development and germination. 2^o Edition. New York, Plenum Press. 445 pp.
- Birchler, J. A., Auger, D. L. and Riddle, N. C. 2003. In search of the molecular basis of heterosis. En: The Plant Cell. Vol. 15, no. 5; p. 2236-2239.
- Blum, A. 1988. Plant breeding for stress environments. CRC Press, Boca Raton/FL.
- Bonner, F. T., J. A. Vozzo, W. W. Elamy S. B. Land, Jr. 1994. Tree seed technology training. Course Instructor's Manual. USDA, Forest Service. New Orleans, Louisiana. 160 p.
- Borlaug, N. E. 1969. Mejoramiento de trigo, su impacto en el abastecimiento mundial de alimentos. Sobretiro No. 2. CIMMYT, El Batán, México. 40 p.
- Bradford, K.J. 1995. Water relations in seed germination. Pages 351-396. In: J. Kigel and G. Galili (eds.). Seed Development and Germination. Marcel Dekker Inc. NY, USA.
- Byerlee, D and P. Moya. 1993. Impacts of international wheat breeding research in the developing world. México, D. F. CIMMYT. 87 p.
- Cristo E., M. González, R. Cárdenas y N. Pérez. 2001. Evaluación de la tolerancia a la salinidad en el estado juvenil de tres nuevas líneas de arroz

(*Oryza sativa* L.) utilizando marcadores morfoagronómicos. *Cultivos Tropicales*. 22(2):43-45

- Crossa, J., Vasal, S. K. and Beck, D. L. 1990. Combining ability in diallel crosses of CIMMYTs tropical late yellow maize germoplasm. *Maydica*. Vol. 35; p. 273-278.
- Cuartero J.; Fernández-Muñoz R. 1999. Tomato and salinity. *Scientia Horticulture*.78: 83-125.
- Díaz Lifante, Z. 1993. Observaciones sobre el comportamiento en la germinación de las semillas de *Asphodelus* L. (*Asphodelaceae*). *Lagascalia* 17 (2): 329-352.
- Dowling, C. W. 1996. The effect of soil ammonium concentration and osmotic pressure on seedling emergence. Proc. 8th Australian Agronomy Conference. Toowoomba. Queensland. <http://www.regional.org.au/au/asa/1996/contributed/219dowling.htm> (30 enero 2004).
- Dubreucq B, N Berger, E Vincent, M Boisson, M Caboche & I Lepiniec. 2000. The Arabidopsis AtEPR1 extensin-like gene is specifically expressed in endosperm during seed germination. *Plant Journal* 23: 643-652.
- El-Habbasha-Km; Shaheen-Am; Rizk-Fa. 1996. Germination of some tomato cultivars as affected by salinity stress condition. *Egyptian-Journal-of-Horticulture*. 23 (2): 179-190.
- Ellis, R. H.; Roberts, E. H. 1980. Towards a national basis for testing seed quality. *In* Seed production. Hebblethwaite. pp. 605-635.

- Ellis R & Td Hong. 1994. Desiccation tolerance and potential longevity of developing seeds of rice (*Oryza sativa* L.). *Annals of Botany* 73: 501-506.
- Emmerich W. W. and Hardegree, S. P. 1991. Seed germination in polyethylene glycol solution: effects of filter paper exclusion and water vapor loss. *Crop Science*. 31, 454-458.
- Espinoza, Z. R. y S. Kuruvadi. 1985. Clasificación de colecciones de zacate gigante (*Leptochloa dubia* HBK, Ness) por su grado de resistencia a sequía en manitol. *Agraria Revista Científica UAAAN* 1(2): 142-152.
- Forero, D. G. 2000. Almacenamiento de Granos. UNAD, Facultad de Ciencias Agrarias, Bogotá.
- Foley Me & SA Fennimore. 1998. Genetic basis for seed dormancy. *Seed Science Research* 8: 173-182.
- Foolad, M.R.; Lin, G.Y. 1997. Genetic potential for salt tolerance during germination in *Lycopersicon* species. *HortScience*. 32 (2): 296-300.
- Flowers, T.J.; Koyama, M.L.; Flowers, S.A.; Sudhakar, C.; Singh, K.P. y Yeo, A.R. 2000. QTL: their place in engineering tolerance of rice to salinity. *Journal of Experimental Botany*, 51: 99-106.
- Flowers, T.J. y Yeo, A.R. 1995. Breeding for salinity resistance in crop plants: where next? *Australian Journal of Plant Physiology*, 22: 875-884.
- Furatani, S.C., B. Zandstra y M. Price. 1985. Low temperature germination of celery seeds for fluid drilling. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110:153-156.

- Galloway Lf. 2001. The effects of maternal and paternal environments on seed characters in the herbaceous plant *Campanula americana* (Campanulaceae). *American Journal of Botany* 88: 832-840.
- Gupta, S.K. y S. K. Sharma. (1990). Response of crops to high exchangeable sodium porcentaje. *Irrig. Sci.* 11:173-179.
- González, L. y R. Ramírez. 1996. Respuesta de *Terannus labilis* a diferentes niveles de salinidad durante la germinación y crecimiento. *Cultivos Tropicales* 17(3):1719.
- Gorham, J. 1992. Stress tolerance and mechanisms behind tolerance in barley. In Proc. 6 th int. Barley Genetic Symposium. Ed. L. Munk.pp 1035-1049.
- Gregorio, G.B. y Senadhira, D. 1993. Genetic analysis of salinity tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 86: 333-338.
- Grossniklaus U, Jp Biella-Calzada, Ma Hoepfner, Wb Gagliano. 1998. Maternal control of embryogenesis by MEDEA a polycomb group gene in *Arabidopsis*. *Science* 280: 446-450.
- Guerrier, G. 1981. Influence de diferentes salinités (sels de sodium et sels de chlorure) sur la germination de *Raphanus sativus*. *Plant and Soil* 61:457-469
- Gutterman. 2000. Maternal effects on seed during development. En: Fenner M (ed) *Seed: the ecology of regeneration in plant communities*: 59-84. CAB International, Wallingford, United Kingdom.

- Hallauer, A. R. and Miranda, J. B. 1981. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press, Ames, Iowa. 468 p.
- Hasegawa, P.M.; Bressan, R.A.; Zhu J.K. y Bohnert, H.J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 51: 463-499.
- Hay Fr & Rj Probert. 1995. Seed maturity and the effects of different drying conditions on desiccation tolerance and seed longevity in foxglove (*Digitalis purpurea* L.). Annals Botany 76: 639-647.
- Hong Td & Rh Ellis. 1992. Development of desiccation tolerance in Norway maple (*Acer platanoides* L.) seeds during maturation drying. Seed Science Research 2: 169-172.
- Horst, G. L. y N.B. Dunning. 1989. Germination and seedling growth of perennial ryegrass in soluble salts. Journal of American Society Horticultural Science 114:338-342.
- Hurd, E. A. 1974. Phenotype and drought tolerance in wheat. Agric. Meteorology 14: 34-55.
- ISTA (International seed testing association), 2006. Internacional Rules for Seed Testing. Zürich: ISTA. 333p.
- Jacobsen, S., A. Mújica y O. Stlen. 1996. Tolerancia de la quinua a la sal durante la germinación. Agronomía Tropical 48(3):359-366.
- Jackson, W. T. 1962. Use of carbowaxes (polyethylene glycol) as osmotic agents. Plant Physiol. 37: 513-518.

- Jain, R.K. y Selvaraj, G. 1993. Molecular genetic improvement of salt tolerance in plants. *Biotechnology Annual Review*, 3: 245-267.
- Kent, N. L. 1983. *Technology of cereals: An introduction for students of food science and agriculture*. Pergamon Press Ltd, Oxford. pp.13.
- Koyama, M.L.; Levesley, A.; Koebner, R.M.D.; Flowers, T.J. y Yeo, A.R. 2001. Quantitative trait loci for component physiological traits determining salt tolerance in rice. *Plant Physiology*, 125: 406-422.
- Kuruvadi, S. 1988. Características de planta que contribuyen a la mejor adaptación de los cultivos a regiones semidesérticas. *Agraria Revista Científica UAAAN* 11-4.
- Levitt J. 1980. *Responses of plants to environmental stresses*. New York: Academic, 2nd. Ed.
- López- Castañeda C. and R. A. Richards. 1994. Variation in temperature cereals in rainfed environments. III. Water use and water-use efficiency. *Field Crops Res.* 39: 85-98.
- Maldonado, C.; Oujado, E. Y Squeo, F. 2002. El efecto de la disponibilidad de agua durante el crecimiento de *Lycopersicon chilensis* sobre la capacidad de sus semillas para germinar a distintas temperaturas y concentraciones de manitol y NaCl. *Revista Chilena de Historia Natural*, vol. 75, p. 651-660.
- Malik, K.A.Asalam, Z and Naqui, M., 1986. Kallar grass-a plant for saline land. The Nuclear Institute for Agriculture an Biology, Faisabaland.

- Marcar, N.E. 1987. salt tolerance in the genus *Lolium* (ryegrass) during germination and growth. *Australian Journal Agronomy Research* 38: 297-307
- Marín, S. J., Mejía C. J. A., Hernández L. A, Peña L. A. y Carballo C. A. 2007. Acondicionamiento osmótico de semillas de tomate de cáscara. *Agric. Téc. Méx.* v.33 n.2
- Martínez A., L. E. 1999. Efecto de la temperatura y del contenido de agua del suelo en la germinación y crecimiento inicial en dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.) con diferentes contenidos de humedad inicial en las semillas. Trabajo de grado presentado para optar al Título de M.Sc. en Agricultura Tropical Mención Producción Vegetal. Postgrado en Agricultura Tropical. Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas. Venezuela. 86 p.
- Maya de L., J. L. 1978. Trigo. //: Recursos genéticos disponibles a México. Cervantes S. T. (ed.). Sociedad Mexicana de Fitogenética. Chapingo, Edo. de México. p. 93-102.
- Mayer A M & Poljakolff-Mayber A. 1982. Germination of seeds. London: Pergamon Presseeee. 212 p.
- Méndez N., J. R.; Ibarra P., F. T.; Merazo P., J. F. 2002. Germinación de semillas y desarrollo de plántulas de tres híbridos de maíz (*Zea mays* L.) bajo soluciones osmóticas I. Cloruro de sodio. VI Festival del Maíz. VI Jornada Científica Nacional del Maíz. Del 20 al 23 de noviembre del 2002. Maracay, Estado Aragua. On line:

<http://www.ceniap.gov.ve/pbd/Congresos/jornadasdemaiz/6jornadas/carteles/tecnosemilla/jmarquezsodio.htm> (22 de febrero de 2006).

- Moreno M. E. 1995. Almacenamiento y conservación de granos en el medio rural. *In*: El Sistema Poscosecha de Granos en el Nivel Rural: Problemáticas y Propuestas. E. Moreno, F Torres, I Chong (eds). Programa Universitario de Alimentos. UNAM. México, D. F. Pp.247-261.
- Munir J, La Dorn, K Donohue & J Schmitt. 2000. The effect of maternal photoperiod on seasonal dormancy in *Arabidopsis thaliana*. *American Journal of Botany* 88: 1240-1249.
- Pallais N & N Espinola. 1992. Seed quality as affected by nitrogen during to potato seed production moisture condition during storage. *American Potato Journal* 68: 85-93.
- Parera A., C. and Cantliffe D., J. 1994. Presowing priming. *Horticultural Reviews* 16:109–141.
- Parmar, M. T. y R. P. Moore. 1968. Carbowax 6000, mannitol and sodium chloride for simulating drought conditions in germination studies of corn (*Zea mays* L.) of strong and weak vigour. *Agron. J.* 60: 192-195.
- Parodi, P.C. y Patterson, F. 1977. Vigor híbrido, capacidad combinatoria y acción génica en un cruzamiento dialélico de seis progenitores de trigo invernal (*Triticum aestivum*). *Ciencia e Investigación Agraria.* 4:2. 75-84.

- Pearson, G. A.; Ayers, A. D.; Eberhard, D. L. 1966. Relative salt tolerance of rice during germination and early seedling development. *Soil Sci.* 102: 151-156.
- Perry, D. A. 1980. The concepts of seed vigour and its relevance to seed production techniques. *In: Seed production.* Hebblethwaite, P.D. (ed.). Butterworths Publishers, London. p. 585-591.
- Pons, T.L., 2000. Seed Response to Light. In *Seeds: the Ecology of Regeneration in Plant Communities.* Fenner, M. (Ed.). CAB International, pp. 237-260.
- Probert, R., 2000. The role of temperature in germination ecophysiology. In *Seeds: the Ecology of Regeneration in Plant Communities.* Fenner, M. (Ed.). CAB International, pp. 261-292.
- Promila, K. y S. Kumar. 2000. *Vigna radiata* seed germination under salinity. *Biol. Plantarum* 43: 423-426.
- Quarrie, S.A. 1996. New molecular tools to improve the efficiency of breeding for increased drought resistance. *Plant Growth Regulation*, 20: 167-178.
- Rajaram, S. and G. P. Hettel. 1995. (eds.). *Wheat Special Report No. 29.* México, D. F. CIMMYT. p. 1.10.
- Rees, M., 1997. Seed dormancy. In *Plant Ecology.* Crawley, M. (Ed.). Blackwell Science, London, pp. 214-238

- Rezende, G. S. P. and Souza Junior, C. L. 2000. A reciprocal recurrent selection procedure outlined to integrate hybrid breeding program in maize. En: Journal of Genetics & Breeding. Vol. 54; p. 57-66.
- Rodríguez, V. J. 1992. Importancia del trigo en la producción de alimentos en México. 1ra. Conferencia Nacional de Trigo. SARH-INIFAP-CIFAP Sonora. cd. Obregón, Son. p. 9-34.
- Rodríguez V., J. 2000. Principios del mejoramiento de trigo en México, 1939-1995. Agric. Tec. Méx. 26 (1): 99-107.
- Rogers, M.E., C.M. Grieve y M. Shannon. 1998. The response of lucerne (*Medicago sativa*) to sodium sulphate and chloride salinity Plant and Soil 202:271-280.
- Rumbaugh, M. D. y B.M. Pendery. 1990. Germination salt resistance of alfalfa (*Medicago sativa*) germplasm in relation to subspecies and centers of diversity Plant Soil 124:47-51.
- Sayre, K. D., R. P. Singh, J. Huerta and S. Rajaram. 1998. Genetic progress in reducing losses to leaf rust in CIMMYT-derived mexican spring wheat cultivars. Crop Sci. 38: 654-659.
- Shannon, M.C. 1997. Adaptation of plants to salinity. Advances in Agronomy, 60: 75-120.
- Shannon, M.C. y C.L. Noble. 1995. Variation in salt tolerance and ion accumulation among subterranean clover cultivars. Crop Science 35:798-804.

- Shonjani, S. 2002. Salt sensitivity of rice, maize, sugar beet, and cotton during germination and early vegetative growth. Dissertation im Fachbereich Agrarwissenschaften und Umweltsicherung. Institut für Pflanzenernährung der Justus-Liebig- Tesis Ph.D., Justus Liebig University, Giessen.
- Shull, G. H. 1909. A pure line method of corn breeding. En: American Breeders' Association Report. Vol. 5; p. 51-59.
- Singer-Sm. 1994. Germination responses of some tomato genotypes as affected by salinity and temperature stress. *Egyptian-Journal-of-Horticulture*. 21 (1): 47-64.
- Smith, P. y B. Comb. 1991. Physiological and enzymatic activity of pepper seeds (*Capsicum annum*) during priming. *Acta Horticulture* 89:7178.
- Steiner, J. J., D. F. Grabe, and M. Tulo. 1989. Single and multiple vigour tests for predicting seedling emergence of wheat. *Crop Sci*. 29: 782-786.
- Suh, H. W., A. J. Casady, and R. L. Vanderlip. 1974. Influence of sorghum seed weight on the performance of the resulting crop. *Crop Sci*. 14: 835-836.
- Tetepa A., C. 1997. Acondicionamiento osmótico de semilla de tres especies hortícolas solanáceas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Chapingo, México. 76 p.
- Thompson, P. A. 1973. Seed germination in relation to ecological and geographical distribution. In V. H. Heywood (ed.). *Taxonomy and Ecology*. Academia Press. London.

- Tsaftaris, A. S., Kafka, M., Polidoros, A. and Tani, E. 1997. Epigenetic changes in maize DNA and heterosis. p. 112-113. Abstracts of the International Symposium on The Genetic and Exploitation of Heterosis in Crops. (1997: México City, México). Abstracts. México, D.F.: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT.
- Vasal, S. K., Srinivasan, G., Beck, D. L., Crossa, J. L., Pandey, S. and De Leon, S. 1992. Heterosis and combining cv ability of CIMMYTs tropical late white maize germoplasm. *Maydica*. Vol. 37, no. 1; p. 217-223.
- Villaseñor M., H. E. 2000. Reseña del mejoramiento genético del trigo de temporal en México. *Agric. Téc. Méx.* 26 (1): 109-123.
- Wechsberg Ge, Cm Bray & Rj Probert. 1994. Expression of dehydrin-like proteins in orthodox seeds of *Ranunculus scleratus* during development and water stress. *Seed Science Research* 4: 241-246.
- Wiggins, S. C. y F. P. Gardner. 1959. Effectiveness of various solutions for simulating drought conditions as measured by germination and seedling growth. *Agron. J.* 51: 315-318.
- Willenborga, C. J.; J. C. Wildemanc, A. K. Millerb, B. G. Rossnageld and S. J. Shirtliffeb, 2005. Oat germination characteristics differ among genotypes, seed sizes, and osmotic potentials. *Crop Sci.*, 45: 2023-2029.
- Wong R., L. A. 2002. Efecto de cinco potenciales osmóticos creados con NaCl y sacarosa comercial sobre la germinación de las semillas y desarrollo inicial de las plántulas de tres híbridos de maíz (*Zea mays* L.). Trabajo de

grado presentado para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas. Venezuela. pp. 14-94.

- Yeo, A.R. 1998. Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology. *Journal of Experimental Botany* 49: 915-929.