

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y
AGROPECUARIAS

DIVISIÓN DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



IDENTIFICACIÓN DE TIPOS DE MAÍZ TOLERANTES A SEQUÍA CON SOLUCIONES DE MANITOL EN LA PRUEBA DE GERMINACIÓN

TESIS	PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE	
INGENIERO	AGRONOMO
P R E S E N T A	
GABRIELA BALLESTEROS	MARTINEZ
GUADALAJARA,	JALISCO, 2003



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS
BIOLOGICAS Y AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERO AGRONOMO
COMITE DE TITULACION

ING. ELENO FELIX FREGOSO
DIRECTOR DE LA DIVISION DE CIENCIAS AGRONOMICAS
PRESENTE

Con toda atención nos permitimos hacer de su conocimiento, que habiendo sido aprobada la modalidad de titulación: TESIS E INFORMES, opción TESIS con el título:

" IDENTIFICACION DE TIPOS DE MAIZ TOLERANTES A SEQUIA CON SOLUCIONES DE MANITOL EN LA PRUEBA DE GERMINACION"

El cual fue presentado por él (los) pasante(s):

GABRIELA BALLESTEROS MARTINEZ

El Comité de Titulación, designó como director y asesores, respectivamente, a los profesores:

M.C. JOSE SANCHEZ MARTINEZ	DIRECTOR
M.C. JOSE MIGUEL PADILLA GARCIA	ASESOR
M.C. LUIS JAVIER ARELLANO RODRIGUEZ	ASESOR

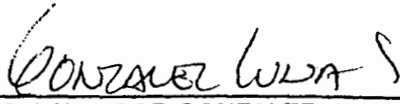
Una vez concluido el trabajo de titulación, el Comité de Titulación designó como sinodales a los profesores:

DR. ELIAS SANDOVAL ISLAS	PRESIDENTE
DR. EDUARDO RODRIGUEZ GUZMAN	SECRETARIO
M.C. ADRIANA N. AVENDAÑO LOPEZ	VOCAL

Se hace constar que se han cumplido los requisitos que establece la Ley Orgánica de la Universidad de Guadalajara, en lo referente a la titulación, así como el Reglamento del Comité de Titulación.

ATENTAMENTE
"PIENSA Y TRABAJA"
Las Agujas, Zapopan, Jal. A 4 de abril de 2003.

ING. RENE RODRIGUEZ VILLALOBOS
PRESIDENTE DELCOMITE DE TITULACION


M.C. SALVADOR GONZALEZ LUNA
SRIO. DEL COMITE DE TITULACION

AGRADECIMIENTOS

A mis profesores por su valiosa aportación y ayuda.

A mi esposo Octavio y a mi hijo Sebastián por su paciencia y motivación.

A mis padres Luis y Reina, a mis hermanos Hugo, Lupita, Ana, Ono y Paco por su comprensión y motivación.

A ese ser que nunca me abandona y que siempre me ilumina.

Y a todos aquellos que tuvieron a bien ayudarme en el transcurso de la elaboración del presente documento.

A todos muchas GRACIAS.

DEDICATORIAS

A Andrés Sebastián López Ballesteros.

CONTENIDO

	PAGINA
Lista de cuadros y figuras.....	ii
RESUMEN.....	iii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo.....	2
1.2 Hipótesis.....	2
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 Resistencia a sequía.....	3
2.1.1 Efectos fisiológicos de la sequía.....	5
2.1.2 Efecto hormonal.....	8
2.2 Resistencia a sequía a nivel plántula.....	10
2.3 Soluciones osmóticas.....	11
2.4 Maíces con resistencia a sequía.....	12
III. MATERIALES Y METODOS.....	14
3.1 Localización del experimento.....	14
3.2 Material genético.....	14
3.3 Metodología.....	15
3.3.1 Manejo de la prueba de manitol.....	15
3.3.2 Diseño experimental.....	16
3.3.3 Variables evaluadas.....	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	20
4.1 Análisis de varianza.....	20
4.2 Prueba comparativa de medias para las diferentes concentraciones y el testigo en agua.....	22
V. CONCLUSIONES.....	26
VI. BIBLIOGRAFIA.....	27
APÉNDICE.....	31

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

		PAGINA
Cuadro No. 1	Materiales y sus características que se evaluaron en el experimento.	14
Cuadro No. 2	Análisis de varianza factorial aplicado a la variable evaluada.	20
Cuadro No. 3	Cuadrados medios del análisis de varianza individual de los dieciocho tratamientos evaluados en agua, y en solución a -5, -10 y -15 bar de concentración.	21
Cuadro No. 4	Prueba comparativa de medias DMS ($\alpha \leq 0.05$) en la variable porcentaje de germinación estándar en los 18 materiales de maíz evaluados en agua, -5, -10 y -15 bar de concentración.	23
Figura No. 1	Porcentaje de germinación de los 18 materiales en las tres diferentes concentraciones y en el testigo.	25

RESUMEN

En los últimos años se ha observado que la precipitación pluvial ha sido escasa o en su defecto mal distribuida, lo que ocasiona periodos de sequía que repercute en bajos rendimientos agrícolas ya que la mayoría de los genotipos que se utilizan en la actualidad no son resistentes a sequía. Por lo anterior es necesario recurrir a las fuentes de germoplasma original para seleccionar genotipos que resistan a periodos de sequía, los métodos convencionales son tardados por lo que una alternativa sería recurrir al apoyo de técnicas de laboratorio que determinen los genotipos tolerantes y que logren acortar los periodos de mejoramiento. En el presente estudio se utilizó la prueba de manitol para representar condiciones de estrés por sequía, ya que esta prueba actúa secuestrando agua. Para ello, se evaluaron dieciocho materiales de maíz los cuales fueron seis de amplia base genética, seis poblaciones mejoradas, ambos grupos derivados del CIMMYT; cuatro colectas de criollos y dos generados por la Universidad de Guadalajara. Para definir si presentan resistencia, tolerancia o susceptibilidad a altos potenciales osmóticos. Se utilizaron concentraciones a -5, -10, -15 bar, de la solución de manitol y el testigo en agua. El objetivo de la investigación fue demostrar que la utilización de la sencilla prueba de manitol en laboratorio, es de apoyo para identificar genotipos tolerantes a sequía en nivel de plántula para seleccionar las variedades que sean convenientes para su cultivo en territorios donde se tienen bajas precipitaciones. La evaluación se llevo a cabo en el laboratorio de análisis de semillas del CUCBA tomando en cuenta la variable germinación estándar como diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Se identificaron genotipos tolerantes y se definieron los resistentes, tomando en cuenta que el experimento se llevo a cabo bajo condiciones controladas se determina que, un alto porcentaje de germinación a altas presiones osmóticas indica resistencia a sequía en campo. Se presento una mayor variación de tratamientos en la concentración de -15 bar, la cual comprueba que la prueba

puede servir como índice de selección en un trabajo de mejoramiento o como parte de la caracterización de nuevos materiales mejorados.

I. INTRODUCCIÓN

La demanda cada vez mayor de agua para la industria y consumo humano, reduce disponibilidad para el uso agrícola, por lo que en los próximos años se tendrá que racionar este vital líquido. Padilla *et al* (2000) mencionan que el aumento en el consumo del maíz como alimento a nivel mundial, y la escasez de agua que cada año padece el campo agrícola, hace que los mejoradores en este cereal investiguen como contrarrestar este último fenómeno.

En la actualidad, no hay un mecanismo confiable para aumentar la cantidad de precipitación durante los periodos de sequía. Cuando el agua de riego no esta disponible, las únicas soluciones posibles estriban en recurrir a los procedimientos de cultivo que incrementen la disponibilidad de humedad almacenada en el suelo, o desarrollar variedades de maíz que puedan evitar o tolerar con mayor eficiencia los periodos de sequía. (Quizenberry citado por Christiansen y Lewis, 1987).

La metodología que usan los fitomejoradores para abatir los efectos de la sequía, se basa en la búsqueda de genotipos que logren sobrevivir a esta condición adversa y que presenten rendimientos de grano aceptables. (Padilla *et al* 2000).

Por lo general, en todos los programas de mejoramiento, el enfoque principal consiste en identificar maíces precoces, tolerantes a la sequía, temperaturas altas y/o que sean eficientes en el consumo de agua.

El estrés de humedad frecuentemente es simulado utilizando soluciones con glucosa, sacarosa, manitol, cloruro de sodio, etc. (Sathyana *et al* 1996).

El presente estudio pretende que la prueba de manitol sea una herramienta más para la comprobación de la efectividad de la selección en campo que realiza el mejorador, ya que esta prueba actúa secuestrando agua y simulando condiciones de estrés hídrico a nivel plántula mediante la prueba de germinación, para la cual se utilizaron dieciocho diferentes genotipos, seis de los cuales el CIMMYT ha definido

como resistentes a sequía por su comportamiento en trabajos realizados por esta institución para estrés por déficit de agua, y otros genotipos que presentan variabilidad y no está demostrado que sean resistentes como tal y tampoco susceptibles, así que se evaluaron en esta investigación.

1.1 Objetivo

- Identificar genotipos de maíz tolerantes a sequía en nivel de plántula mediante la prueba de manitol en laboratorio.

1.2 Hipótesis

"La prueba de manitol permite diferenciar entre genotipos de maíz susceptibles, tolerantes o resistentes a sequía en nivel de plántula".

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Resistencia a Sequía

Levitt citado por García, 2000, menciona que los biólogos han adoptado el término estrés para cualquier factor ambiental potencialmente desfavorable para los organismos vivos, y el término resistencia al estrés como la capacidad de las plantas de sobrevivir al factor desfavorable.

El estrés por sequía consiste en el déficit de agua al cual se exponen las plantas en la naturaleza y este puede producir una tensión elástica (reversible) de deshidratación inofensiva, que consiste en un déficit de transferencia del agua o deshidratación, pero también puede producir al menos cuatro tipos de tensión nociva entre las cuales se encuentran:

1. La tensión elástica o reversible de crecimiento,
2. La tensión secundaria,
3. La tensión plástica (irreversible) indirecta,
4. La tensión plástica directa.

De igual manera, clasifica la resistencia a la sequía en dos tipos diferentes:

1. Prevención o evitación
 2. Tolerancia al estrés de sequía
-
1. En la prevención, la planta es capaz de evitar el estrés parcial o completamente ya sea por medio de barreras físicas que protegen las células del estrés o por un estado estable de exclusión del estrés (barreras químicas o metabólicas como la precocidad). Por definición, el individuo debe mantener un alto potencial del agua cuando se expone a un estrés externo de agua en contraste con la tolerancia, la cual es desarrollada debido a los efectos de la sequía en los procesos fisiológicos; la prevención es por naturaleza morfológica-anatómica. La prevención de la sequía, permite a la planta evitar los diferentes tipos de daño causados por la sequía.

2. La tolerancia al estrés es una resistencia debida a la capacidad de la planta de llegar al equilibrio termodinámico con el estrés sin sufrir daño. En consecuencia la planta con tolerancia es capaz de prevenir, reducir o reparar la tensión inducida por el estrés.

Cortés (1981), menciona que hay dos tipos de sequía: la resultante de factores atmosféricos que causan excesiva transpiración y la deficiencia de humedad del suelo. Los efectos nocivos resultan de la combinación de los dos tipos de sequía como puede ocurrir en épocas de calores fuertes y secos, cuando el suelo ha perdido toda humedad disponible para la planta.

Stocker y Levitt (citados por Cortés, 1981), reconocen dos clases de resistencia a sequía: protoplásmica, la habilidad para permanecer vivo a un bajo potencial hídrico, y constitucional, la habilidad para permanecer los protoplasmas a un potencial hídrico más alto que los de la atmósfera.

Según Rojas y Ramírez (1987), la verdadera resistencia puede implicar la habilidad de usar el agua con gran economía (pocos estomas, favorable relación tallo/raíz, escaso follaje, etc.), o bien la habilidad de adoptar sus actividades metabólicas de modo que la deficiencia de agua no determine daño serio o permanente (capacidad de las células de funcionar con déficit hídrico, de entrar en letargo con falta de agua y de recuperación al rehidratarse, etc.). Menciona que en general la planta retiene entre el 1 y 2% del agua para hidratar las células y sintetizar glucosa, y el 98 a 99% del agua, simplemente la mueve del suelo a la atmósfera. Este desperdicio de agua, unido al hecho de que una de las causas es la sequía, ha hecho pensar en la posibilidad de disminuir la transpiración y por tanto la exigencia de agua, o bien de actuar sobre el metabolismo para que la planta sufra menos por la deficiencia de agua.

Aún cuando la planta no llegue a morir por la sequía, basta que en su ciclo la planta sufra un periodo de marchitez para que disminuya su rendimiento en un 50% (Rojas y Rovalo, 1985).

2.1.1 Efectos Fisiológicos de la Sequía

La selectividad activa del organismo vegetal ante los factores de estrés del medio externo se expresa en su facultad de autorregularse, optimizar los procesos que transcurren en su seno y adaptarlos a los factores del medio con los que interactúa ininterrumpidamente en el ciclo ontogenético. Debido a las pérdidas hídricas se dan distintas alteraciones en los procesos fisiológicos normales ejerciendo una fuerte y multifacética influencia sobre el organismo vegetal. (Rubin, 1976).

Salisbury (citado por Cortés, 1981), al referirse a los efectos que causa la deficiencia de agua en las plantas, señala lo siguiente:

1. El desarrollo celular aparentemente es el más sensitivo a las deficiencias de humedad.
2. Al más simple potencial hídrico negativo, la formación de protoclorofila es inhibida.
3. La fijación del nitrógeno cesa con las deficiencias de humedad.
4. A más altos niveles de deficiencias de humedad (-10 a -20 bar), la respiración y asimilación de CO^2 cesa.

Al respecto García y Gavande, Shaw y Salisbury, (citados por Cortés, 1981), señalan que a niveles bajos de humedad que cause cambios observables en la actividad enzimática, la división celular es inhibida y los estomas comienzan a cerrarse, para una reducción en la transpiración y fotosíntesis.

Tomar y Ghildal, (citados por Lagarda, 1977), mencionan que la marchitez de los cultivos se ha identificado como un síntoma de sequía debido a una pérdida de turgencia en las hojas. Esta pérdida de turgencia ha sido atribuida a un déficit de agua desarrollado en las plantas cuando el agua transpirada es mayor que la absorbida. Cuando el marchitamiento de un cultivo dado, es causado por bajos potenciales de agua en el suelo (Ψ), el tiempo que permanece el cultivo marchito durante el día, es progresivamente más duradero hasta llegar a ser permanente.

Según Rubin (1976), la deshidratación modifica el estado físico-químico general de los biocoloides celulares. Cambian en particular los índices tan importantes como la viscosidad y la permeabilidad del protoplasma, el grado de hidratación de los coloides, la carga eléctrica y el pH del sistema. El déficit acuoso conduce a una gradual degradación fermentativa de los compuestos más complejos de la célula (formas poliméricas de carbohidratos, proteínas), degradación que provoca la inhibición de las funciones sintéticas, creadoras del protoplasma. La sequedad incide de modo que disminuye marcadamente la eficiencia energética de la respiración.

Hay tres etapas fenológicas según Slatyer citado por Lagarda, 1977, donde los cultivos son especialmente sensibles a la sequía:

1. Iniciación-floral al desarrollo de la inflorescencia: En este periodo se determina el número potencial de granos.
2. Floración a la antesis: Es el periodo donde se fija el número potencial de granos.
3. Llenado de grano: Es el periodo en que el peso del grano se incrementa progresivamente.

De acuerdo a Westgate y Boyer (1986) y Skaskin citado por Lagarda, 1977, la antesis es particularmente vulnerable dado que bajos potenciales de agua pueden causar asincronía en el desarrollo de las inflorescencias estaminadas y pistiladas interrumpiendo la polinización. La reducción en el número de granos de polen por espiga ha sido atribuido a interferencias en la formación del gameto masculino donde los sacos embrionarios pueden abortar y se puede inhibir el desarrollo y crecimiento del estilo en la flor femenina y el de la espiga, puede inhibirse.

Basetti y Westgate (1983), señalan que la reproducción sexual en plantas requiere del transporte de gametos en medio acuoso. Bajos potenciales de agua causan daños en el desarrollo de los ovarios y en la función de los estigmas, además de una pérdida en la receptividad floral.

Con respecto a lo anterior Westgate y Boyer (1986), comentan lo siguiente:

Primero: bajos potenciales de agua justamente o previo a la antesis pueden interrumpir la megasporogenesis.

Segundo: la espiga puede abandonar la emergencia, las anteras no pueden excertar, las flores no pueden elongarse, siguiendo la dirección de la asincronía en el desarrollo floral y en la polinización.

Tercero: el embrión no puede crecer en las flores, aunque aparentemente el desarrollo es normal.

Tal fenómeno ha sido explicado, también por el bajo aprovechamiento de los nutrimentos minerales, inducido por la sequía (Single citado por Lagarda 1977).

La distribución de asimilados (fotosintatos) y no los bajos potenciales de agua en la planta, es un factor importante en el desarrollo reproductivo del maíz cerca de la antesis. El bajo potencial de agua puede causar un déficit de productos fotosintéticos o sus derivados, que puede guiar hacia el cese prematuro del desarrollo del embrión. (Boyle, *et al*, 1991).

Aún cuando parece que ocurre la floración normalmente, se tiene un fracaso en el desarrollo del grano a bajos potenciales de agua en la antesis, debido a que tuvo una alta necesidad de fotosintatos por un bloqueo de translocación (Westgate y Boyer, 1986).

Robins y Domingo (1953), citados por Lagarda (1977), mostraron evidencias de que la sequía en floración en el cultivo del maíz, actúa deshidratando al polen, aunque tal fenómeno es probable que también interfiera al tubo polínico.

La conclusión errónea de que la polinización es muy sensible al déficit hídrico se basa parcialmente en la reducción que se observa en el número de granos en las plantas bajo tensión hídrica. Se ha encontrado que mucha de esta reducción se debe al aborto de frutos jóvenes y no a una inhibición de la polinización. El aborto parece presentarse cuando el suministro de sustancias asimiladas es limitante, tal como ocurriría bajo un déficit hídrico. (Lira, 1994).

Los déficits de agua durante el desarrollo reproductivo causan grandes pérdidas en la producción de maíz, aunque generalmente la antesis es considerada el periodo más vulnerable. Déficit de agua durante el llenado de grano también puede causar pérdidas en la producción, por disminución de la masa del grano causando desecación prematura del endospermo, limitando el volumen del embrión. (Westgate 1994).

La mayor contribución de fotosintatos para el llenado de grano, son producidos en la planta en el lapso posterior a la antesis. La producción de fotosintatos se suspende temporalmente al presentarse un período de sequía en este lapso acelerando la madurez de la planta. Fenómeno que se asoció con la disminución del peso de los granos, al disponer de menor tiempo de llenado (Slayter citado por Lagarda, 1977).

En un estudio realizado por Volke y Turrent (citados por Lagarda, 1977), observaron que durante la época de formación de las espigas, la sequía afectó negativamente al número de granos por espiga, y al rendimiento de grano.

Rojas y Rovalo (1985), mencionan la existencia de fallas en el transporte debido a falta de agua, originando que el azúcar se acumule en la hoja y las reacciones de síntesis de sacarosa y almidón se inhiban por la ley de acción de masas. La conjunción de alta respiración y baja fotosíntesis provocará un estado de desnutrición si persisten por cierto tiempo.

Nulsen y Thurtal (citados por Cortés, 1981), manifiestan que el restablecimiento del crecimiento vegetativo después de un periodo de sequía depende de la recuperación del potencial hídrico después de haber regado.

2.1.2 Efecto Hormonal

El fracaso reproductivo asociado con bajos potenciales de agua es el resultado de cambios hormonales en la planta. Por ejemplo, la concentración de ABA

(ácido abscísico) se incrementa a gran velocidad en el tejido expuesto de maíz a bajos potenciales de agua. Este incremento pudo reducir la producción de fotosintatos a causa del cierre estomatal o afectando el transporte de solutos. En maíz, el ABA es asociado con la regulación del desarrollo reproductivo, incluyendo el control genético de la germinación precoz por aplicación endógena de ABA y la estimulación del desarrollo reproductivo puede también ser exhortado por etileno u otros precursores. El ABA aplicado exógenamente promueve el cierre de estomas y participa en los cambios fisiológicos inducidos por el estrés de sequía. Se sabe también que en estrés por sequía, el contenido de citocininas baja. (Boyle, *et al*, 1991).

López (1963) menciona que se han realizado estudios interesantes sobre inducción de resistencia de las plantas a la sequía con la aplicación de fitorreguladores: ácido abscísico (ABA), antitranspirantes (ácido alkenilsuccínico, acetatofenilmercúrico (PMA) y ácido acetilsalicílico) y sustancias como daminozide y cloromequat, aplicados en maíz.

González (citado por López, 1993), en un experimento con maíz utilizando el cloromequat sólo o con cloruro de calcio a una concentración de 0.025 (el cloromequat se aplicó a 800 ppm), se observaron plantas con mayor altura y eficiencia en el uso del agua. El cloromequat fue experimentado por Rojas y Gámez (citados por López, 1993), obteniendo disminución de la transpiración en plantas susceptibles a la sequía.

Harbome (1985), y Parsons (citado por Christiansen y Lewis, 1987), en observaciones bioquímicas sobre plantas en condiciones de deficiencia de agua indican que la prolina se acumula durante la adaptación. Variedades resistentes y susceptibles a la sequía han mostrado consistentemente niveles más altos de prolina. El aumento de prolina puede ser un síntoma de adaptación mucho más profunda a la sequía, causa de sus especiales propiedades osmóticas, la prolina es capaz de contribuir de forma directa a la retención de agua por la planta y a su resistencia a la sequía, actuando en el ajuste osmótico.

Según Rojas y Rovalo (1985), los datos experimentales sugieren que las especies resistentes a sequía, no tienen un contenido mayor de ácido absísico cuando están en condiciones normales, pero son capaces de sintetizarlo en gran cantidad elevando su concentración en condiciones de sequía muy por encima de las plantas susceptibles, en las mismas condiciones hídricas. La prolina se acumula en las plantas en situaciones de estrés por sequía y al parecer puede duplicar ciertos efectos del ABA en relación con la resistencia a la sequía. Se piensa que aún cuando no fuera un protector para el estrés por sequía y frío, la prolina podría ser útil como indicador de este fenómeno.

2.2 Resistencia a Sequía a Nivel Plántula

Robles (1990), menciona que cuando la sequía se presenta en estado de plántula la parte aérea muere, y cuando se presentan buenas condiciones de humedad, la corona de la raíz emite nuevos brotes o vástagos.

Según Rojas y Rovalo (1985), el fertilizante corrige el metabolismo, de manera que necesita menos agua por gramo de materia seca, pero al mismo tiempo al aumentar la talla, el número y tamaño de las hojas, la demanda total de agua crece. Se induce resistencia por sequía edáfica al retirar el riego a los cultivos en las primeras etapas del desarrollo, técnica conocida como "castigo" (de uso muy general en algunas regiones). Efectivamente la planta tendrá una relación tallo/raíz menor y resistirá mejor la sequía, pero también rendirá menos.

De acuerdo a Rojas y Rovalo (1985), la sequía induce precocidad. Mencionan que se han obtenido buenos resultados al humedecer la semilla y luego dejarla secar hasta cierto porcentaje en peso, según el cultivo. Este método, se dice acarrea cambios xeromórficos que bajan el rendimiento, pero se asocian a un estímulo por aumento en ácidos nucleicos. El más prometedor es el método de presiembra, que consiste en tratar la semilla con algún producto químico como clomequat, o con solución de CaCl_2 por 24 horas.

Además señalan algunos productos que actúan en el metabolismo, los cuales producen en la planta cambios fenotípicos por los que se puede resistir mejor la sequía:

1. Alar (ácido dimetilamino succínico)
 - Induce tallos cortos
 - Floración Profusa
 - Resistencia a heladas y sequía.

2. Cloromequat o CCC (Cloruro de Cloro Colina)
 - Provoca hábito compacto
 - Resistencia a sequía (trigo)
 - Cambios fenotípicos en plantas ornamentales.

3. Antitranspirantes
 - Se aplican a la planta en estado vegetativo para disminuir la transpiración.
 -

2.3 Soluciones Osmóticas

A nivel de semilla, una de las mejores pruebas para identificar variedades resistentes a sequía es determinar el porcentaje de germinación a diferentes presiones osmóticas. Las soluciones con glucosa, sacarosa, manitol, cloruro de sodio, etc., actúan secuestrando agua y simulan condiciones de estrés hídrica. Actualmente la utilización de sales y azúcares están disminuyendo en los experimentos debido a que la semilla absorbe las sustancias durante el proceso de germinación. La solución de polietileno parece ser mejor que otras soluciones químicas para la simulación de estrés de humedad porque no es tóxico y su gran peso molecular (6,000 a 20,000 unidades), inhibe la penetración de la sustancia a través de la testa de la semilla. (Sathyana, *et al* 1996)

En la investigación de Maldonado *et al* (2002), sobre la capacidad de germinación de la semilla de *Lycopersicum chilense*, a diferentes temperaturas y diferentes concentraciones de manitol y NaCl, con agua y con déficit de agua, obtuvo

que el contenido de agua afectó al número de semillas germinadas y al tiempo necesario para que estas germinaran. La germinación de la semilla de *L. chilense* presentó un decremento a bajos potenciales de agua por debajo de -0.5 MPa y a temperaturas debajo de 8°C o arriba de 35°C .

Pérez y Tambelini (1995), en un experimento donde se utilizaron semillas de mezquite (*Prosopis juliflora* (Sw.) D.C.), se evaluaron los efectos del estrés por agua y sal que fueron observados usando soluciones de NaCl, CaCl_2 , Na_2SO_4 y manitol en potenciales osmóticos severos: -0.0 ; -0.3 ; -0.6 ; -0.9 ; -1.2 y -1.5 MPa, en donde un decremento significativo fue observado desde -0.3 para NaCl y a -0.6 para las otras soluciones.

En forma generalizada se ha relacionado al punto de marchitamiento (PMP) con -5 bar de Ψ . Los potenciales de agua (Ψ) al PMP son diferentes en cada cultivo. Slatyer, Kromer y Tomar y Ghildyal, citados por Cortés (1981).

2.4 Maíces con Resistencia a Sequía

Cortés en 1981, menciona que en el CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo), han encontrado que un genotipo en el cual los estomas permanecen abiertos (baja resistencia) a potenciales bajos de agua (mayores valores negativos), puede tener una ventaja en un periodo corto de sequía. Cuando los estomas permanecen abiertos, permite la difusión de CO_2 para la fotosíntesis y el enfriamiento de la hoja (transpiración) a expensas de la pérdida de agua.

Esta característica de mayor sensibilidad estomática, asociada a una mayor reducción transpiratoria, a una mayor eficiencia en el uso del agua y a una producción superior bajo sequía, potencialmente representa un valioso mecanismo para amortiguar el efecto de las variaciones de la precipitación sobre el rendimiento. Muñoz (citado por Cortés, 1981).

Edmeades *et al* (citado por García, 2000), mencionan que han demostrado que al seleccionar bajo condiciones de sequía para un menor intervalo en la floración masculina–femenina y un mayor número de mazorcas por planta se mejora en forma paralela el rendimiento de grano y la tolerancia a la sequía.

Trugunbenko (citado por Cortés, 1981), en un estudio sobre la reacción fisiológica de diversos híbridos de maíz a la sequía, encontró que en los híbridos resistentes a la sequía disminuye en menor grado la intensidad de respiración y fotosíntesis, aumenta la capacidad de retención de humedad, disminuye la salida de electrolitos de los tejidos y la intensidad de transpiración.

Jurgens, Jhonson y Bayer (citados por Cortés, 1981), determinaron que la fotosíntesis es más inhibida que la translocación durante las condiciones secas y además que con la sequía aumenta la concentración de proteínas del grano pero reduce la concentración de aceite.

García (2000), encontró que en condición de severa sequía, la heredabilidad del rendimiento disminuye comparada con la heredabilidad en condiciones de buena humedad, lo que confirma la dificultad de seleccionar genotipos de altos rendimientos bajo condiciones de sequía.

I. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del Experimento

El trabajo fue realizado en el laboratorio de semillas del Centro de Investigación en Producción de Semillas, del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara, en enero de 2000.

3.2 Material Genético

Para la prueba se utilizaron 18 variedades de maíz: seis poblaciones de amplia base genética tolerantes a la sequía, y seis poblaciones mejoradas, ambos grupos derivados por el CIMMYT, cuatro materiales son colectas de maíz criollo y dos variedades generadas por la Universidad de Guadalajara. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Materiales evaluados en el experimento.

NOMBRE DEL MATERIAL	ORIGEN	CARACTERISTICAS
POOL 18 (sequía)	Ameca P/V 99	Resistencia a sequía
SIWA C2	Ameca P/V 99	Resistencia a sequía
SPMAT C7 F2	Ameca P/V 99	Resistencia a sequía
DTPY C9	Ameca P/V 99	Resistencia a sequía
SIBA C3	Ameca P/V 99	Resistencia a sequía
DTPW C9	Ameca P/V 99	Resistencia a sequía
POB 501	Ameca P/V 99	Población mejorada
POB 502	Ameca P/V 99	Población mejorada
POB 42	Ameca P/V 99	Población mejorada
POB 44	Ameca P/V 99	Población mejorada
POB 33	Ameca P/V 99	Población mejorada
POB 45	Ameca P/V 99	Población mejorada
Criollo Saltillo Coahuila	Saltillo P/V 99	Colecta (Variable)
Criollo Ahumado	Ameca P/V 99	Colecta (Variable)
Generación avanzada 309	Cuquío P/V 99	Colecta (Variable)
Criollo Tabloncillo	Ameca P/V 99	Colecta (Variable)
UDG-600	Ameca P/V 99	Generada por la UdeG (V.)
Población CB-98	Ameca P/V 99	Generada por la UdeG (V.)

3.3 Metodología

3.3.1 Manejo de la prueba de manitol

La preparación de la solución de manitol se realizó a tres diferentes concentraciones, se siguió la ecuación propuesta por VANT HOFF (González, 1996). Las presiones osmóticas a utilizar fueron a -5, -10 y -15 bar y en agua destilada como testigo (Cuadro 1Apéndice), cálculos hechos mediante la fórmula siguiente:

$$ns = \pi V / RT$$

donde:

π = Presión osmótica (bar)

R= Kte de los gases 0.082

T= 273 +°C = °K

V= 1 L

ns= número de moles

Los materiales y equipo de laboratorio utilizados fueron:

- Germinadora con ambiente controlado,
- Charolas de plástico,
- Bolsas de plástico,
- Papel germinador,
- Cajas petri,
- Lápiz tinta y
- Agua destilada.

Procedimiento:

Se tomó la semilla de la muestra considerada semilla pura a la cual se realizó la prueba de germinación. Se contaron 200 semillas de maíz, para establecer cuatro repeticiones de 50 semillas cada una. Las semillas de cada repetición se

distribuyeron uniformemente sobre el papel germinador húmedo con la solución a la concentración respectiva para cada tratamiento y en agua destilada al testigo, posteriormente se enrollaron en forma de "taco" y se identificaron, con una flecha que señala en que dirección están los embriones de las semillas, con el nombre del cultivo y el número de repetición, así como la fecha de siembra. Las repeticiones se colocaron en forma vertical por separado en bolsas de polietileno dentro de la cámara germinadora sin luz a una temperatura de $\pm 26^{\circ}\text{C}$ durante siete días.

Duración de la prueba

Al tercer día después del inicio de la incubación, debido a la absorción de líquido que realizan las semillas y la resequedad que produce la temperatura, se le agregaron 15 ml de la misma solución a los tratamientos de -5 y -10 bar y agua destilada en el testigo, medidos en una pipeta graduada y agregados por medio de una piceta. Al tratamiento de -15 bar se agregó la solución dos veces, al tercer y sexto día, debido a que la solución mayormente salina reseca aún más el "taco". Al séptimo día se evaluaron los materiales tomando en cuenta la variable porcentaje de germinación estándar, dividiendo el número total de semillas germinadas de las cuatro repeticiones entre dos.

3.3.2 Diseño experimental

Se utilizó el diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. Se realizó un análisis de varianza factorial de genotipos x niveles, donde se convirtieron los datos por la función arco seno para representar una distribución hipotéticamente normal, ya que los resultados son en porcentaje (Cuadro 2 A).

3.3.3 Variables evaluadas

Porcentaje de germinación estándar

Según Sandoval *et al* (1993), la germinación se define como la emergencia y desarrollo a partir del embrión de aquellas estructuras esenciales que por la clase de semillas, son indicadoras de la habilidad para producir una plántula normal bajo condiciones favorables.

Sus objetivos son, obtener información de las condiciones germinativas de la semilla y comparar su valor entre sí, además de identificar las plántulas consideradas como normales, anormales, semillas duras y semillas muertas.

Los conteos de las plántulas para una prueba de germinación pueden ser dos, siendo más representativo el segundo, según sea el caso. En maíz se realiza el primer conteo a los cuatro días y el segundo al séptimo.

Al segundo conteo se llevó cabo la evaluación de las plántulas, tomando en cuenta los siguientes criterios:

1. Plántulas normales.

Son aquellas que poseen las estructuras esenciales para producir plantas normales bajo condiciones favorables de agua, luz y temperatura.

a) Se consideran plántulas normales a aquellas que presenten las siguientes estructuras esenciales.

- Sistema radical bien desarrollado, incluyendo raíz primaria, excepto para aquellas plantas, por ejemplo gramíneas, que normalmente presentan raíces seminales, de las cuales deben estar presentes por lo menos dos.

- Hipocótilo bien desarrollado e intacto y/o un epicótilo sin daño en el tejido conductor.

- Plúmula intacta en las gramíneas, debe presentar una hoja verde bien desarrollada dentro o emergiendo del coleóptilo.

- Un cotiledón en monocotiledóneas.

b) Se consideran plántulas normales aquellas que presentan los siguientes defectos ligeros, siempre y cuando el resto de las estructuras vitales de la plántula presente un desarrollo vigoroso.

- Plántulas que presenten una raíz primaria dañada, pero con raíces adventicias o laterales lo suficientemente largas y vigorosas para mantener la plántula en el suelo.

- Plántulas con daño superficial en el hipocótilo, epicótilo o cotiledones, siempre y cuando el daño no afecte los tejidos conductores.

c) Se consideran plántulas normales aquellas que estén invadidas por hongos o bacterias, siempre y cuando sea evidente que la fuente de infección no es la misma semilla y que están presentes las estructuras esenciales.

2. Plántulas anormales.

Se consideran plántulas anormales todas las plántulas que no se pueden clasificar como normales por tener alguna deficiencia en el desarrollo de sus estructuras esenciales, que les impide su desarrollo normal cuando crecen en el suelo preparado y bajo condiciones favorables de agua, luz y temperatura.

a) Plántulas dañadas, sin cotiledones, con fisuras o lesiones que dañen el tejido conductor del hipocótilo, epicótilo o raíz; sin raíz primaria en aquellas especies donde esta estructura es esencial; excepto en las que han desarrollado raíces secundarias vigorosas que sostienen la plántula en el suelo.

b) Plántulas deformes. Plántulas con un desarrollo débil o desequilibrado de las estructuras primordiales; plúmulas retorcidas en espiral; plúmulas, hipocótilo y epicótilos poco desarrollados; talluelos hinchados y raíces en desarrollo; coleóptilos

sin hojas verdes; plantas acuosas o bien plántulas que no presentan desarrollo después de haber salido de los cotiledones.

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

Semillas duras

Son aquellas que permanecen duras al final de la prueba de germinación, ya que no absorben agua porque tienen cubierta impermeable.

Semillas muertas

Son aquellas que no germinan y que no se les considera como latentes o duras.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Análisis de Varianza

En el cuadro 2 se observa el análisis de varianza factorial aplicado a la variable porcentaje de germinación, en donde, el factor A genotipos y B niveles, mostraron diferencias significativas ($\alpha \leq 0.01$), demostrando que si hubo variación ya que los genotipos respondieron de diversas formas en su habilidad para germinar en condiciones de estrés hídrico. En niveles de concentración de solución presentó la mayor variación debido a que fue diferente la germinación de los tratamientos en las diversas concentraciones, demostrando que si hubo una respuesta significativa a la solución de manitol.

Cuadro 2. Análisis de varianza factorial aplicado a la variable evaluada (% de germinación).

FV	GL	SC	CM	
Repeticiones	3	114.504	38.168	ns
A) Genotipos	17	12421.326	730.66	**
B) Niveles	3	98448.047	32816.016	**
Interacción AxB	51	13683.68	268.307	**
Error	213	4384.775	20.586	
Total	287	129052.332		

$$CV = 7.13\%$$

Donde: **=Diferencia significativa ($\alpha \leq 0.01$); ns= no significativo;

CV=Coeficiente de variación.

Se observan diferencias significativas estadísticamente en la interacción entre genotipos y niveles de concentración de la solución de manitol (AxB), lo que es indicativo de que los genotipos respondieron diferencialmente a los niveles de concentración a la solución

Se obtuvo un coeficiente de variación de 7.13 % el cual se considera aceptable.

Por otro lado, al observar los cuadrados medios del análisis de varianza individual (Cuadro 3), se observan las varianzas de mayor magnitud numérica para tratamientos en todas las concentraciones y en el agua, encontrando diferencias estadísticas significativas en la concentración a -15 bar de solución con un cuadrado medio de 524.848 al 99% de probabilidad, indicando que todos los tratamientos evaluados se manifestaron de manera distinta, por el efecto que causaron las diferentes concentraciones.

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza individual de los dieciocho tratamientos evaluados en agua, y en solución a -5, -10 y -15 bar de concentración.

FV	GL	CUADRADOS MEDIOS			
		Agua	-5	-10	-15
Repetición	3	25.409 ns	18.781 ns	35.979 ns	33.680 ns
Tratamientos	17	123.052 **	389.724 **	497.965 **	524.848 **
Error	51	19.218	21.427	18.413	22.466
CV		5.23 %	6.24 %	6.93 %	13.73 %

Donde: **=Diferencia significativa ($\alpha \leq 0.01$); ns= no significativo;

CV=coeficiente de variación.

Los coeficientes de variación fueron relativamente bajos (5 a 14%), indicando confiabilidad en la interpretación de los resultados reflejando un grado de error aceptable en la evaluación. En la concentración de -15 bar de solución se presenta el más alto coeficiente de variación producto de lo que se menciona en la metodología en materiales y métodos, de que la mayor concentración de sales se absorbe rápidamente por la semilla durante el proceso de germinación logrando con esto que el "taco" se reseque mayormente, presentando (un mínimo error) en el manejo controlado.

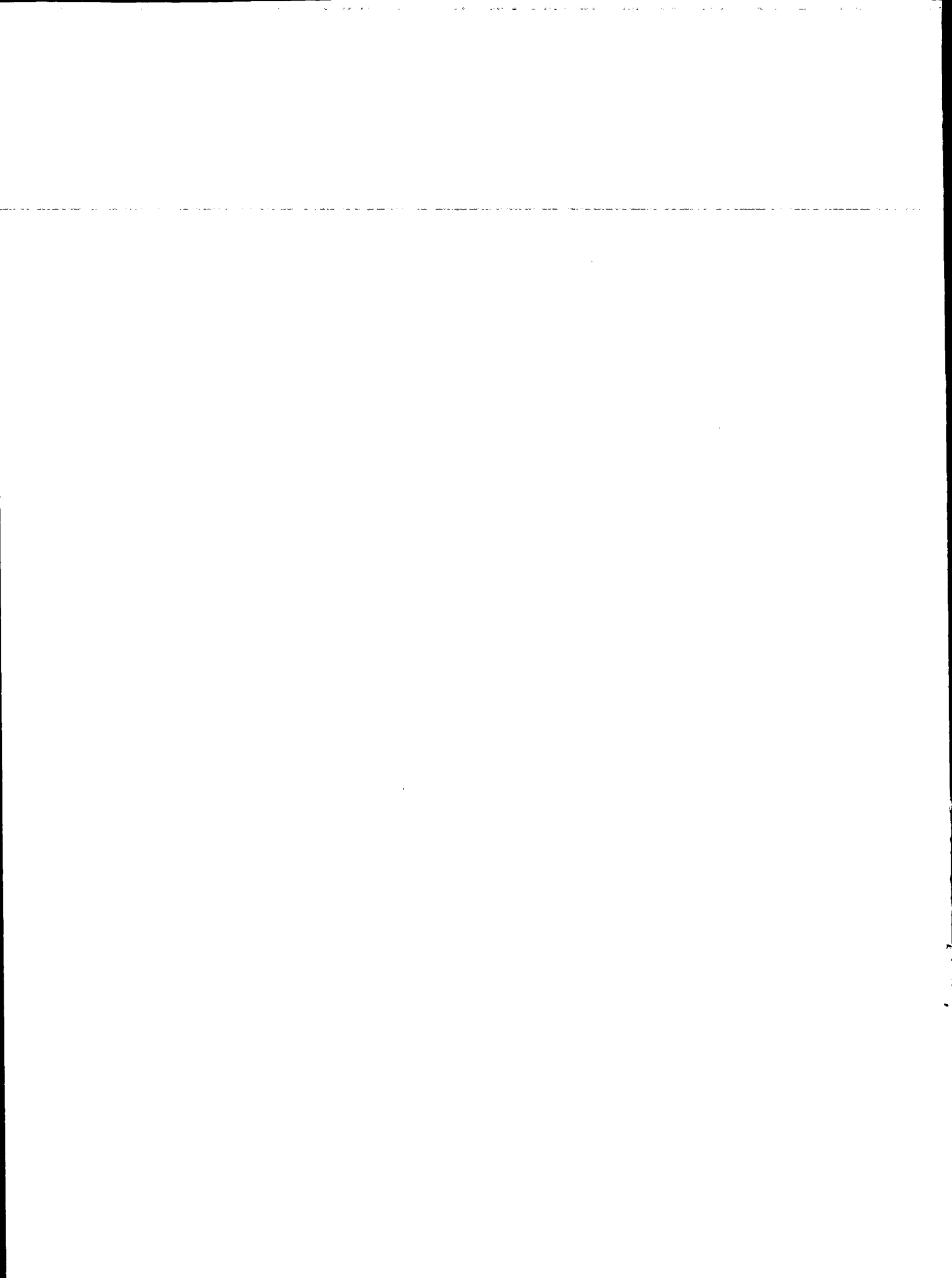
4.2 Prueba Comparativa de Medias para las Diferentes Concentraciones y el Testigo en Agua

Como lo señalan Slatyer, Kromer, y Tomar y Ghildyal (citados por Cortés, 1981), que en forma generalizada se ha relacionado al punto de marchitamiento (PMP) con - 5 bar de (Ψ) potencial hídrico, mencionando además que los potenciales de agua (Ψ) al PMP es diferente en cada cultivo.

En el cuadro 4 se puede observar que la mayoría de los materiales en agua (sin solución) presentaron porcentajes de germinación por arriba del 81%, en donde solo CB-98, Ahumado y Tabloncillo obtuvieron los valores más bajos 74.85, 72.25 y 72.11 respectivamente, los cuales no presentan diferencias significativas entre sí por encontrarse dentro del mismo grupo estadístico (E).

En la concentración de -5 bar (cuadro 4) se puede observar un descenso en el porcentaje de la germinación de los materiales Ahumado con 55.58, UdeG 600 con 60.43 y C-309 con 58.43, con respecto al testigo presentando los grupos estadísticos más bajos (E y F).

A medida que aumenta la concentración hubo una separación de grupos, en donde, el material POB-42 fue uno de los más susceptibles al tratamiento de -15 bar con un decremento de la germinación del 69.36% respecto el valor inicial en el testigo de 90%, mientras que los más resistentes fueron el SPMAT, SIWA (Fig. 1A) y DTPW con porcentajes de germinación de 53.23, 48.74 y 47.88% respectivamente, presentándose en el primer grupo estadístico (A,B y C). Siguieron en continuidad POOL 18 (Fig. 2A), Saltillo (Figs. 3A y 4A) y POB 45 con porcentajes de germinación de 46.15, 43.84 y 42.39% respectivamente, dentro de los grupos estadísticos (B, C y D), donde los materiales Saltillo y POB 45 se pueden considerar como tolerantes.



Cuadro 4. Prueba comparativa de medias DMS ($\alpha \leq 0.05$) en la variable porcentaje de germinación estándar en los 18 materiales de maíz evaluados en agua, -5, -10 y -15 bar de concentración.

Tratamiento	-15 bar		-10 bar		-5 bar		Agua		D
SPMAT	53.23	A ¹	77.24	A	80.36	B	87.97	AB	34.74
SIWA	48.74	AB	70.00	BCD	79.46	BC	87.12	ABC	38.38
DTPW	47.88	ABC	71.18	ABC	73.63	CD	87.12	ABC	39.24
POOL 18	46.15	BC	71.15	ABC	73.69	CD	85.93	ABC	39.78
SALTILLO	43.84	BCD	76.08	AB	78.94	BC	85.93	ABC	42.09
POB 45	42.39	BCD	64.56	DE	82.20	AB	81.83	BC	39.44
SIBA	41.54	CDE	56.57	F	62.65	E	87.97	AB	46.43
DTPY	38.28	DEF	69.52	CD	79.51	BC	87.97	AB	49.69
C-309	35.61	EFG	56.91	F	58.43	EF	81.02	CD	45.41
AHUMADO	32.38	FGH	34.44	H	55.58	F	72.25	E	39.87
CB-98	31.54	GH	64.46	DE	64.65	E	74.85	DE	43.31
POB 502	30.84	GH	58.17	F	78.65	BC	82.20	BC	51.36
UDG-600	26.90	HI	64.96	DE	60.43	EF	85.08	ABC	58.18
TABLONCILLO	26.86	HI	43.56	G	71.68	D	72.11	E	42.25
POB 33	21.63	IJ	69.62	CD	80.47	B	83.05	BC	61.42
POB 42	20.64	IJ	53.54	F	87.97	A	90.00	A	69.36
POB 44	16.52	J	53.60	F	78.79	BC	87.97	AB	71.45
POB 501	16.27	J	59.46	EF	87.97	A	87.97	AB	71.70

1 = Valores con igual letra dentro de columna no son estadísticamente diferentes.

D = Diferencia entre la mayor concentración y el testigo.

Los valores más bajos de germinación los presentó el material POB 501 con una diferencia en la germinación de agua a -15 bar (columna D) de 71.7%, encontrándose en el último grupo estadístico (J) en la concentración a -15 bar, con un porcentaje de 16.27. (Figs. 5A y 6A).

En los tres materiales considerados como resistentes SPMAT, SIWA Y DTPW, se observa un decremento promedio del 37% en relación a la germinación sin concentración y la obtenida a -15 bar, en tanto que en las poblaciones (POB 33, POB 42, POB 44 y POB 501) presentaron menor germinación en la mayor concentración con un promedio del 68% (Columna D).

De acuerdo a estos resultados, se puede decir que las variedades SPMAT, SIWA y DTPW, que son considerados como resistentes a sequía en el presente trabajo, responden significativamente con la prueba de manitol a -15 bar (Cuadros 3A, 4A, 5A, 6A y 7A).

En la figura 1 se demuestra lo que se viene explicando acerca de que la mayor concentración representa las características del déficit hídrico, encontrando que los materiales SPMAT, DTPW y SIWA presentan los valores más altos manifestando que son materiales resistentes y pudiéndose comprobar la clasificación de los materiales POOL 18, Saltillo y POB 45 de tolerantes. (Fig. 7A).

En general, hubo una respuesta definitiva en cuanto a los materiales que respondieron con buen resultado de germinación a la prueba de manitol que fueron los denominados resistentes como lo son SPMAT, SIWA, DTPW y POOL 18. Como lo menciona Sathyana *et al* (1996), se deben utilizar variedades con alto porcentaje de germinación en altas presiones osmóticas para obtener una mejor población en el campo bajo condiciones de sequía, ya que un alto porcentaje de germinación a altas presiones osmóticas indica resistencia a sequía.

Se presentaron respuestas variables como el caso del Ahumado, tabloncillo y POB 502 que provocaron efectos de interacción. En el caso del Ahumado se observa el descenso de la germinación desde la menor concentración, sin embargo, en la mayor concentración mantuvo el porcentaje de germinación que presentó en la concentración de -10 bar. En el caso del tabloncillo y POB-502 presentan un comportamiento similar entre sí, donde mantuvieron el porcentaje de germinación en el testigo y a la concentración a -5 bar, disminuyendo este porcentaje en la concentración de -10 bar y continuando con el descenso en la concentración de -15 bar.

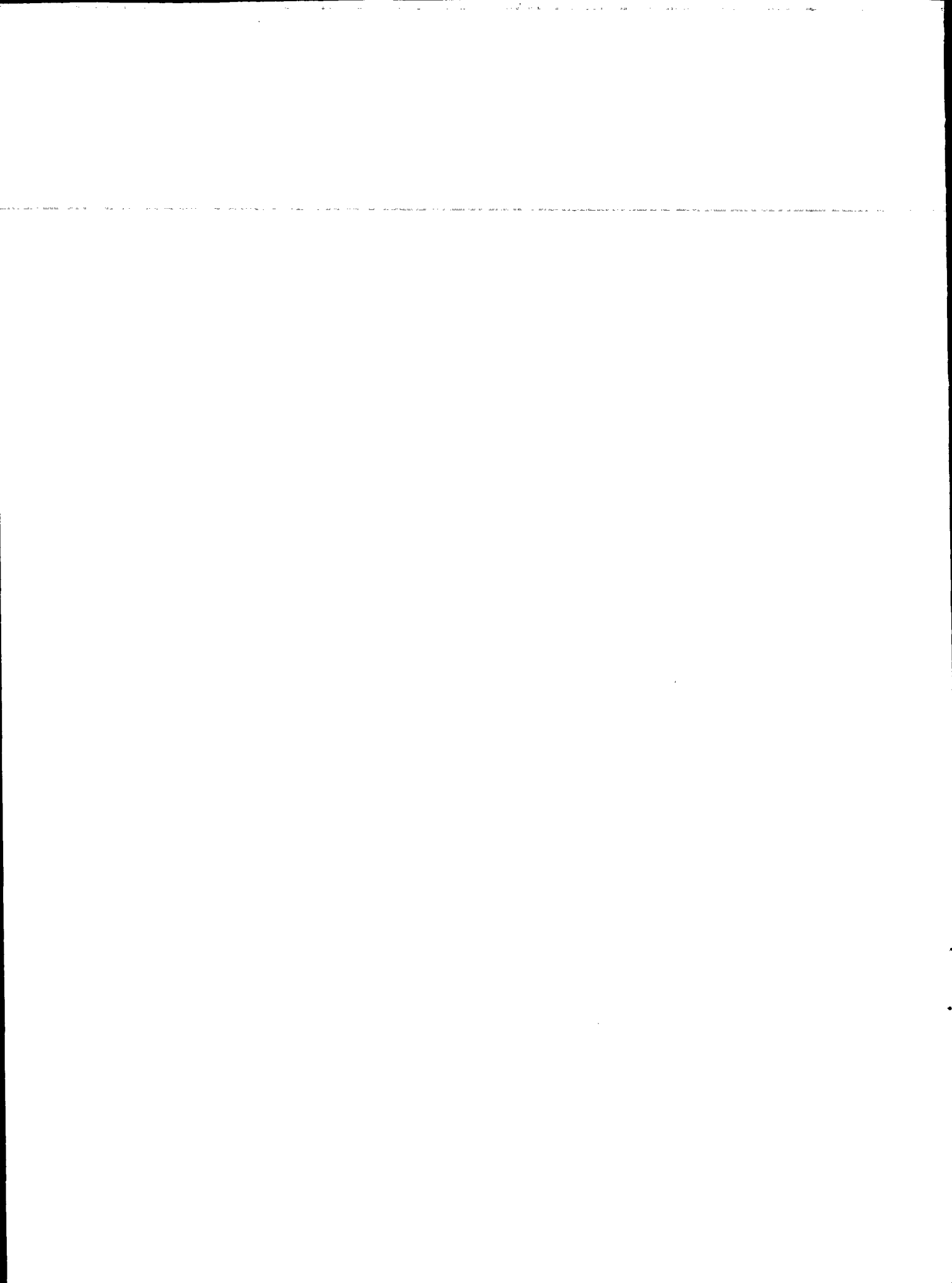
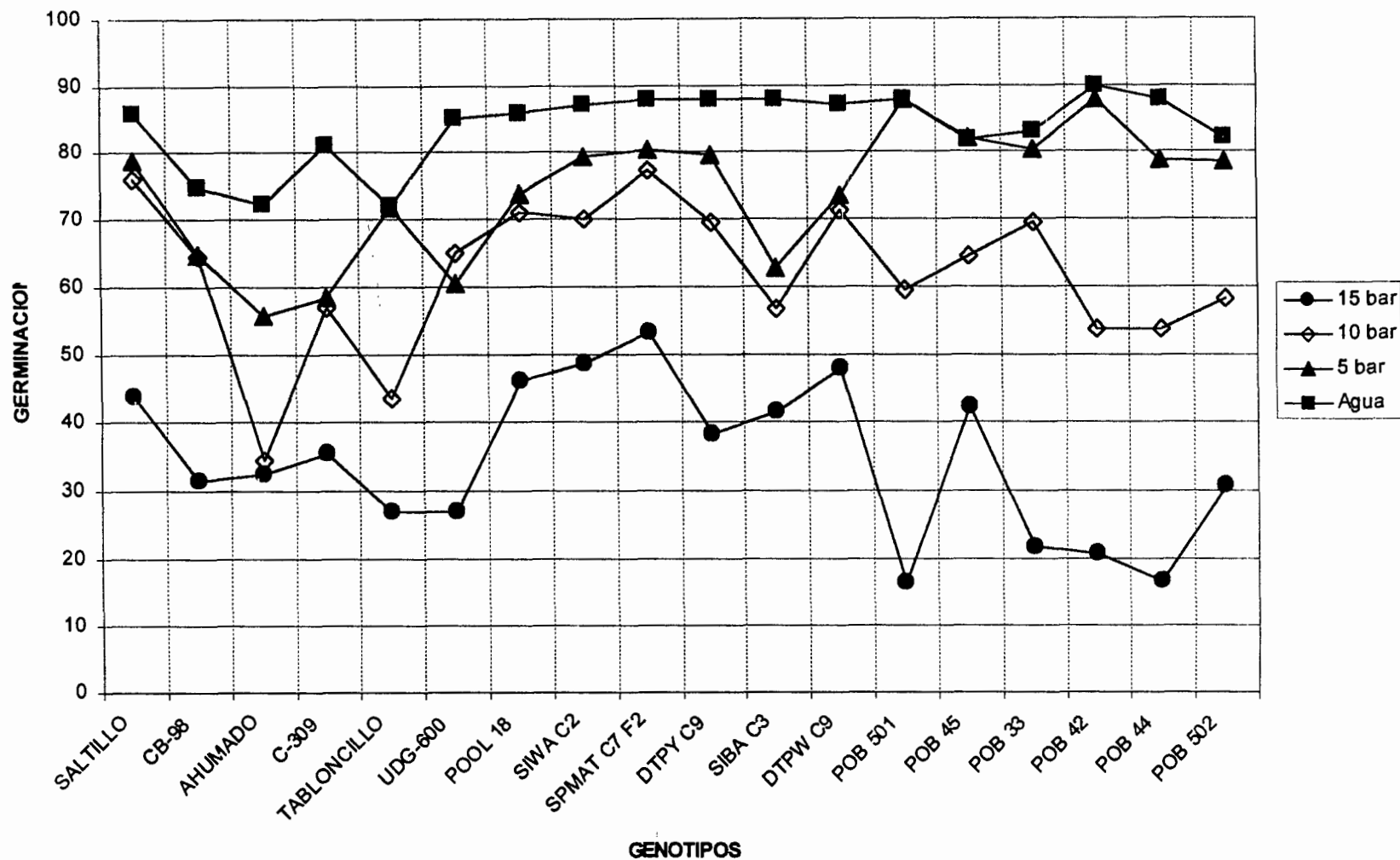


Figura 1. Porcentaje de germinación (datos transformados) de los dieciocho materiales en las tres diferentes concentraciones y en agua como testigo.



V. CONCLUSIONES

1. Mediante la prueba de manitol en laboratorio es posible diferenciar los materiales tolerantes a estrés hídrico en el estadio de plántula, pudiendo servir como herramienta en el trabajo de selección para esta condición.
2. En general se presentó la mayor variación en los tratamientos a concentraciones de -10 y -15 bar, ya que a más alta concentración se simulan más las condiciones de estrés por sequía.
3. Los materiales SPMAT, SIWA, DTPW y POOL 18 considerados como resistentes a sequía en el presente trabajo, respondieron significativamente en la prueba de germinación a la mayor concentración, reafirmando la caracterización en campo de estos materiales; lo que da la pauta para la realización de posteriores investigaciones.
4. El material criollo Saltillo en general obtuvo buenos resultados de germinación demostrando que es un genotipo favorable para su cultivo por mostrar tolerancia a la sequía.
5. Las poblaciones mejoradas a las concentraciones de -5 y -10 bar presentaron buenos porcentajes de germinación, pero al ir aumentando la concentración decrecieron dichos porcentajes mostrando vulnerabilidad al alto nivel de concentración. El material POB 501 obtuvo la mayor pérdida de germinación desde el testigo hasta la concentración de -15 bar con un 91%. Observando con esto que el material se podría denotar como el más susceptible de los dieciocho materiales evaluados en el presente trabajo. Además los materiales POB 33, POB 42 y POB 44 que obtuvieron los resultados más bajos de germinación, podrían considerarse susceptibles de acuerdo a los resultados obtenidos de la prueba en esta investigación. El material POB 45 presentó tolerancia en la mayor concentración.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Bassetti P. and M.E. Westgate. 1993. Water deficit affects receptivity of maize silks. *Crop Science*. 33:279-282.
- Boyle M.G., J. S. Boyer and P. W. Morgan. 1991. Stem infusion of liquid culture medium prevents reproductive failure of maize at low water potential. *Crop Science*. 31:1246-1252.
- Christiansen N. M., F. C. Lewis. 1987. Mejoramiento de plantas en ambientes poco favorables. LIMUSA. México. Págs. 211-228 y 233-234.
- Cortés N. J. 1981. Selección recurrente para tolerancia a sequía en el compuesto de maíz Calera-74. Saltillo. Tesis maestría en ciencias. Especialidad en fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Págs. 5-11.
- García V. M. 2000. Aptitud combinatoria y estabilidad genética de la resistencia a sequía en líneas e híbridos tropicales de maíz. Tesis doctorado en ciencias agrícolas y forestales. CUCBA. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. Págs. 1-20.
- González G. M. E. 1996. Evaluación "in vitro" de genotipos de cereales tolerantes a sequía. En: *Memorias del curso internacional de actualización en fitomejoramiento y agricultura sustentable*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.
- Harbome J.B. 1985. *Introducción a la Bioquímica Ecológica*. Editorial Alambra. Madrid. Págs. 18,19 y 27.

- Lagarda M.R. 1977. Estudio de la respuesta de seis especies cultivadas a la marchitez permanente, cuando esta se aplica en el invernadero selectiva y repetidamente en tres etapas del desarrollo. Tesis maestría en ciencias. Especialidad en fitomejoramiento. Escuela Nacional de Agricultura. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. Págs. 6-12.
- Lira S. H. 1994. Fisiología vegetal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Trillas. Saltillo, México. Pág. 139.
- López T. M. 1995. Resistencia de las plantas. México. Trillas ESAHE. Págs. 16- 19.
- Maldonado C., Pujado E., Squeo FA. 2002. Efecto de la aprovechabilidad del agua durante el crecimiento de *Lycopersicum chilense* en la capacidad de germinación de las semillas a diferentes temperaturas y concentraciones de manitol y NaCl. Revista chilena de historia natural. 75 (4): 651-660.
- Padilla G. J., J. Sánchez M., S. C. Gómez, L. J. Arellano. 2000. Identificación de genotipos tolerantes a la sequía en maíz, por prueba de laboratorio, como herramienta de inicio y comprobación. En: Memorias del XVIII Congreso Nacional de fitogenética. Sociedad Mexicana de fitogenética. Irapuato. México. Pág. 288.
- Pérez SCJGD, Tambelini M. 1995. Efecto de estrés salino, de agua y por envejecimiento en germinación de semillas de "algoroba". Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 30 (11): 1289-1295.
- Robles M. A. 1990. "Variedades de maíz para cierre de siembras y condiciones de sequía en Tototlán Jalisco". Tesis de licenciatura. Universidad de Guadalajara, Facultad de Agricultura. Guadalajara, Jalisco. Págs. 41-49.

- Rojas G. M. y H. Ramírez R. 1987. Control hormonal del desarrollo de las plantas. LIMUSA. México. Págs. 173-178.
- Rojas G.M. y M. Rovalo. 1985. Fisiología vegetal aplicada. 3ra edición. Mc Graw Hill. México. Págs. 53-57 y 222,223.
- Rubin B. A. 1976. Curso de la fisiología vegetal. Traducido al español Vneshtorgizdat 1983. Moscú. 653-655.
- Sandoval I. E., J. Sánchez M., s. González L., A. Avendaño L., L. J. Arellano R., J. M. Padilla G. 1993. Prueba de germinación. Curso: "Semillas de Calidad". En: Memorias XX semana de superación agronómica. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. Págs. 23 – 29.
- Sathyana A. K., M. E. González. y L. Bustamante. 1996. Prueba de estrés hídrico. Taller "Características de cultivos, germinación y vigor de semillas para sequía". En: Memorias del curso internacional de actualización en fitomejoramiento y agricultura sustentable. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.
- Westgate M. E. 1994. Water status and development of the maize endosperm and embryo during drought. *Crop Science*. 34:76-82.
- Westgate M. E. and J. S. Boyer. 1985a. Carbohydrate reserves and reproductive development at low leaf water potentials in maize. *Crop Science*. 25:792-768.
- Westgate M.E. and J. S. Boyer. 1985b. Silk and pollen water potentials in maize. *Crop Science*. 26:947-950.

Westgate M. E. and J. S. Boyer. 1986. Reproduction at low silk and pollen water potentials in maize. *Crop Science*. 26:951-956.

Cuadro 1A. Aplicación de la formula propuesta por Van'T OFF para determinar las diferentes concentraciones de la solución de manitol.

$$\Pi = \frac{RT}{V} ns \quad \text{Descomponiendo la fórmula:} \quad ns = \frac{\Pi V}{RT}$$

Donde: Π = presión osmótica o potencial osmótico en bares

R = Kte de los gases (0.082)

T = 273 + °C = °K

V = 1 lto

ns = número de moles (1 mol = 182.17 gr/lto)

solución a
-5 bar:

$$ns = \frac{5 \times 1}{0.082 \times 298} = \frac{5}{24.43} = 0.2046663$$

Regla simple de tres:

$$\begin{array}{ccc} 1 \text{ mol} & 182.17 \text{ gr/lto} & \\ 0.2046663 \text{ moles} & x & = 37.28405 \text{ gr/lto} \end{array}$$

solución a
-10 bar:

$$ns = \frac{10 \times 1}{0.082 \times 298} = \frac{10}{24.43} = 0.4093327$$

Regla simple de tres:

$$\begin{array}{ccc} 1 \text{ mol} & 182.17 \text{ gr/lto} & \\ 0.4093327 \text{ moles} & x & = 74.5681 \text{ gr/lto} \end{array}$$

Solución a
-15 bar

$$ns = \frac{15 \times 1}{0.082 \times 298} = \frac{15}{24.43} = 0.6139991$$

Regla simple de tres:

$$\begin{array}{ccc} 1 \text{ mol} & 182.17 \text{ gr/lto} & \\ 0.6139991 \text{ moles} & x & = 111.8512 \text{ gr/lto} \end{array}$$

Cuadro 2A. Dato convertidos a la función arco seno y los porcentajes (datos originales); donde se utilizó la formula siguiente:

$$\text{Arcoseno} = \sqrt{\% / 100}$$

Rep	Trat	agua		-5bar		-10 bar		-15 bar	
		arcoseno	%	arcoseno	%	arcoseno	%	arcoseno	%
1	1	90.00000	100	81.86990	98	78.46304	96	47.29428	54
1	2	73.57006	92	59.34270	74	62.02790	78	31.94806	28
1	3	68.02724	86	58.05194	72	33.21091	30	41.55395	44
1	4	81.86990	98	60.66613	76	60.66613	76	36.86990	36
1	5	69.73210	88	68.02724	86	41.55395	44	26.56505	20
1	6	81.86990	98	63.43495	80	64.89591	82	27.97210	22
1	7	90.00000	100	71.56505	90	69.73210	88	49.60345	58
1	8	78.46304	96	75.82118	94	73.57006	92	49.60345	58
1	9	90.00000	100	81.86990	98	73.57006	92	56.78909	70
1	10	90.00000	100	81.86990	98	73.57006	92	38.05673	38
1	11	90.00000	100	66.42182	84	51.94327	62	43.85378	48
1	12	90.00000	100	73.57006	92	71.56505	90	50.76848	60
1	13	90.00000	100	81.86990	98	64.89591	82	18.43495	10
1	14	73.57006	92	78.46304	96	64.89591	82	42.70572	46
1	15	78.46304	96	90.00000	100	73.57006	92	31.94806	28
1	16	90.00000	100	90.00000	100	55.55010	68	8.13010	2
1	17	90.00000	100	90.00000	100	50.76848	60	21.97276	14
1	18	78.46304	96	75.82118	94	56.78909	70	26.56505	20
2	1	81.86990	98	81.86990	98	75.82118	94	43.85378	48
2	2	75.82118	94	66.42182	84	69.73210	88	34.44990	32
2	3	73.57006	92	54.33146	66	35.66854	34	29.33387	24
2	4	78.46304	96	60.66613	76	60.66613	76	39.23152	40
2	5	71.56505	90	73.57006	92	46.14622	52	23.57818	16
2	6	90.00000	100	63.43495	80	68.02724	86	27.97210	22
2	7	81.86990	98	75.82118	94	73.57006	92	45.00000	50
2	8	90.00000	100	90.00000	100	66.42182	84	49.60345	58
2	9	90.00000	100	75.82118	94	78.46304	96	58.05194	72
2	10	81.86990	98	78.46304	96	75.82118	94	33.21091	30
2	11	90.00000	100	54.33146	66	54.33146	66	39.23152	40
2	12	90.00000	100	75.82118	94	71.56505	90	50.76848	60
2	13	81.86990	98	90.00000	100	58.05194	72	11.53696	4
2	14	90.00000	100	90.00000	100	64.89591	82	51.94327	62
2	15	90.00000	100	71.56505	90	69.73210	88	21.97276	14
2	16	81.86990	98	81.86990	98	56.78909	70	27.97210	22
2	17	90.00000	100	90.00000	100	53.13010	64	16.42994	8
2	18	81.86990	98	78.46304	96	59.34270	74	27.97210	22
3	1	81.86990	98	78.46304	96	78.46304	96	45.00000	50
3	2	71.56505	90	66.42182	84	68.02724	86	26.56505	20
3	3	75.82118	94	56.78909	70	34.44990	32	30.65730	26
3	4	81.86990	98	58.05194	72	55.55010	68	30.65730	26
3	5	73.57006	92	73.57006	92	39.23152	40	27.97210	22
3	6	90.00000	100	56.78909	70	62.02790	78	26.56505	20
3	7	81.86990	98	71.56505	90	69.73210	88	45.00000	50

3	8	90.00000	100	73.57006	92	73.57006	92	47.29428	54
3	9	81.86990	98	81.86990	98	78.46304	96	50.76848	60
3	10	90.00000	100	75.82118	94	68.02724	86	45.00000	50
3	11	81.86990	98	66.42182	84	60.66613	76	39.23152	40
3	12	78.46304	96	71.56505	90	73.57006	92	41.55395	44
3	13	90.00000	100	90.00000	100	55.55010	68	11.53696	4
3	14	81.86990	98	81.86990	98	62.02790	78	38.05673	38
3	15	81.86990	98	81.86990	98	75.82118	94	14.17882	6
3	16	90.00000	100	69.73210	88	42.70572	46	18.43495	10
3	17	90.00000	100	81.86990	98	60.66613	76	25.10409	18
3	18	78.46304	96	78.46304	96	63.43495	80	31.94806	28
4	1	90.00000	100	73.57006	92	71.56505	90	39.23152	40
4	2	78.46304	96	66.42182	84	58.05194	72	33.21091	30
4	3	71.56505	90	53.13010	64	34.44990	32	27.97210	22
4	4	81.86990	98	54.33146	66	50.76848	60	35.66854	34
4	5	73.57006	92	71.56505	90	47.29428	54	29.33387	24
4	6	78.46304	96	58.05194	72	64.89591	82	25.10409	18
4	7	90.00000	100	75.82118	94	71.56505	90	45.00000	50
4	8	90.00000	100	78.46304	96	66.42182	84	48.44605	56
4	9	90.00000	100	81.86990	98	78.46304	96	47.29428	54
4	10	90.00000	100	81.86990	98	60.66613	76	36.86990	36
4	11	90.00000	100	63.43495	80	59.34270	74	43.85378	48
4	12	90.00000	100	73.57006	92	68.02724	86	48.44605	56
4	13	90.00000	100	90.00000	100	59.34270	74	23.57818	16
4	14	81.86990	98	78.46304	96	66.42182	84	36.86990	36
4	15	81.86990	98	78.46304	96	59.34270	74	18.43495	10
4	16	90.00000	100	73.57006	92	59.34270	74	11.53696	4
4	17	90.00000	100	90.00000	100	49.60345	58	20.26790	12
4	18	90.00000	100	81.86990	98	53.13010	64	38.86990	36

Tratamientos:

- 1= C. Saltillo
- 2= CB-98
- 3= C. Ahumado
- 4= C-309
- 5= C. Tabloncillo
- 6= UDG 600
- 7= POOL 18
- 8= SIWA C2
- 9= SPMAT C7 F2
- 10= DTPY C9
- 11= SIBA C3
- 12= DTPW C9
- 13= POB 501
- 14= POB 45
- 15= POB 33
- 16= POB 44
- 17= POB 42
- 18= POB 502

Cuadro 3A. Prueba comparativa de medias DMS ($\alpha \leq 0.05$) con los porcentajes de germinación en agua.

Tratamiento	Media	Nivel de significancia
POB-42	100.00	A
DTPY	99.50	AB
POB-44	99.50	AB
SIBA	99.50	AB
SPMAT	99.50	AB
POB-501	99.50	AB
DTPW	99.00	AB
SALTILLO	99.00	AB
SIWA	99.00	AB
POOL 18	99.00	AB
UDG-600	98.50	AB
POB-33	98.00	AB
C-309	97.50	AB
POB-502	97.50	AB
POB-45	97.00	B
CB-98	93.00	C
AHUMADO	90.50	C
TABLONCILLO	90.50	C

Cuadro 5A. Prueba de medias DMS ($\alpha \leq 0.05$) de los porcentajes de germinación en concentración de -10 bar

Tratamientos	Media	Nivel de significancia
SPMAT	95.00	A
SALTILLO	94.00	A
DTPW	89.50	AB
POOL 18	89.50	AB
SIWA	88.00	AB
POB-33	87.00	AB
DTPY	87.00	AB
UDG-600	82.00	BC
POB-45	81.50	BC
CB-98	81.00	BC
POB-501	74.00	CD
POB-502	72.00	DE
C-309	70.00	DE
SIBA	69.50	DE
POB-44	64.50	E
POB-42	64.50	E
TABLONCILLO	47.50	F
AHUMADO	32.00	G

Cuadro 4A. Prueba de medias DMS ($\alpha \leq 0.05$) con los porcentajes de germinación en concentración de -5 bar.

Tratamiento	Media	Nivel de significancia
POB-501	99.50	A
POB-42	99.50	A
POB-45	97.50	AB
SPMAT	97.00	AB
DTPY	96.50	AB
POB-33	96.00	AB
SALTILLO	96.00	AB
POB-502	96.00	AB
SIWA	85.50	ABC
POB-44	94.50	ABC
DTPW	92.00	BC
POOL 18	92.00	BC
TABLONCILLO	90.00	C
CB-98	81.50	D
SIBA	78.50	DE
UDG-600	75.50	EF
C-309	72.50	FG
AHUMADO	68.00	G

Cuadro 6A. Prueba de medias DMS ($\alpha \leq 0.05$) de los porcentajes de germinación en concentración de -15 bar.

Tratamiento	Media	Nivel de significancia
SPMAT	64.00	A
SIWA	56.50	AB
DTPW	55.00	ABC
POOL 18	52.00	BCD
SALTILLO	48.00	BCDE
POB-45	45.50	CDE
SIBA	44.00	DE
DTPY	38.50	EF
C-309	34.00	FG
AHUMADO	29.00	FGH
CB-98	27.50	GH
POB-502	26.50	GH
UDG-600	20.50	HI
TABLONCILLO	20.50	HI
POB-33	14.50	IJ
POB-42	13.00	IJ
POB-44	9.500	J
POB-501	8.500	J

Cuadro 7A. Prueba comparativa de medias DMS ($\alpha \leq 0.05$) en la variable porcentaje de germinación estándar en los 18 materiales de maíz en agua, -5, -10 y -15 bar.

Tratamiento	testigo		5 bar		10 bar		15 bar	
POB 42	100.0	A	99.5	A	64.5	E	13.0	IJ
DTPY	99.5	AB	96.5	AB	87.0	AB	38.5	EF
POB 44	99.5	AB	94.5	ABC	64.5	E	9.50	J
SIBA	99.5	AB	78.5	DE	69.5	DE	44.0	DE
SPMAT	99.5	AB	97.0	AB	95.0	A	64.0	A
POB 501	99.5	AB	99.5	A	74.0	CD	8.50	J
DTPW	99.0	AB	92.0	BC	89.5	AB	55.0	ABC
SALTILLO	99.0	AB	96.0	AB	94.0	AB	48.0	BCDE
SIWA	99.0	AB	85.5	ABC	88.0	A	56.5	A
POOL-18	99.0	AB	92.0	BC	89.5	AB	52.0	BCD
UDG-600	98.5	AB	75.5	EF	82.0	BC	20.5	HI
POB 33	98.0	AB	96.0	AB	87.0	AB	14.5	IJ
C-309	97.5	AB	72.5	FG	70.0	DE	34.0	FG
POB 502	97.5	AB	96.0	AB	72.0	DE	26.5	GH
POB 45	97.0	B	97.5	AB	81.5	BC	45.5	CDE
CB-98	93.0	C	81.5	D	81.0	BC	27.5	GH
AHUMADO	90.5	C	68.0	G	32.0	G	29.0	FGH
TABLONCILLO	90.5	C	92.0	C	47.5	F	20.5	HI

1= Valores con igual letra dentro de columna no son estadísticamente diferentes.

Figura 1A. Se observa a los materiales SPMAT (arriba) y SIWA (abajo) a concentración de -15 bar, encontrando que la longitud de plúmula y de raíz es mínima pero presenta germinación en la mayoría de las semillas, siendo estos los materiales clasificados como resistentes a sequía, que presentaron el más alto valor comparado con lo demás materiales.

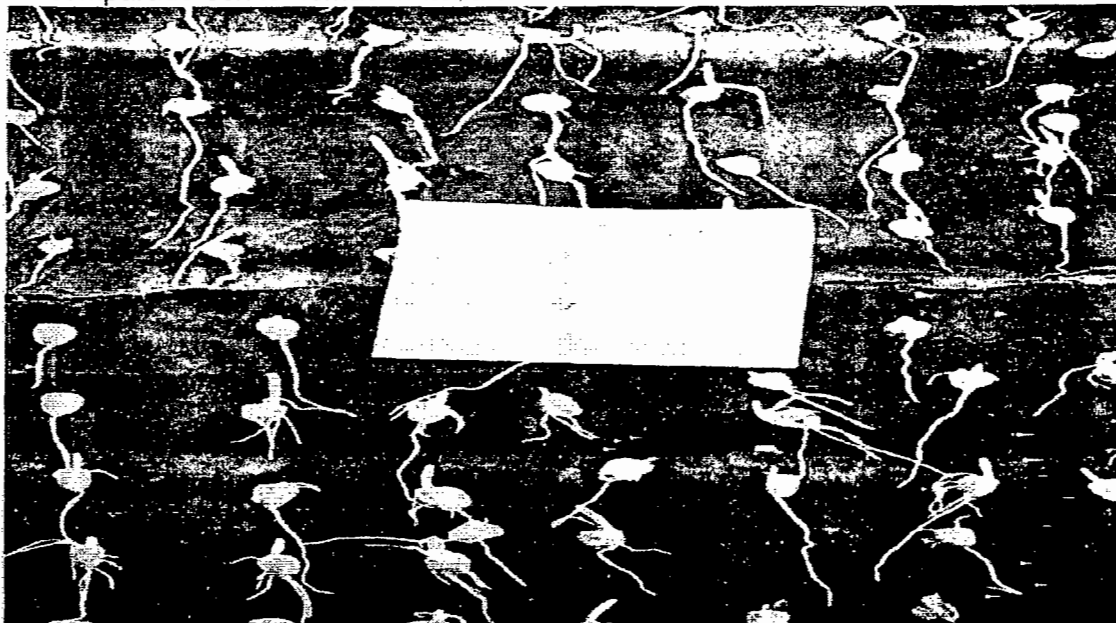


Figura 2A. POOL 18 considerado por el CIMMYT como resistente a sequía, alcanza una longitud favorable en agua destilada.

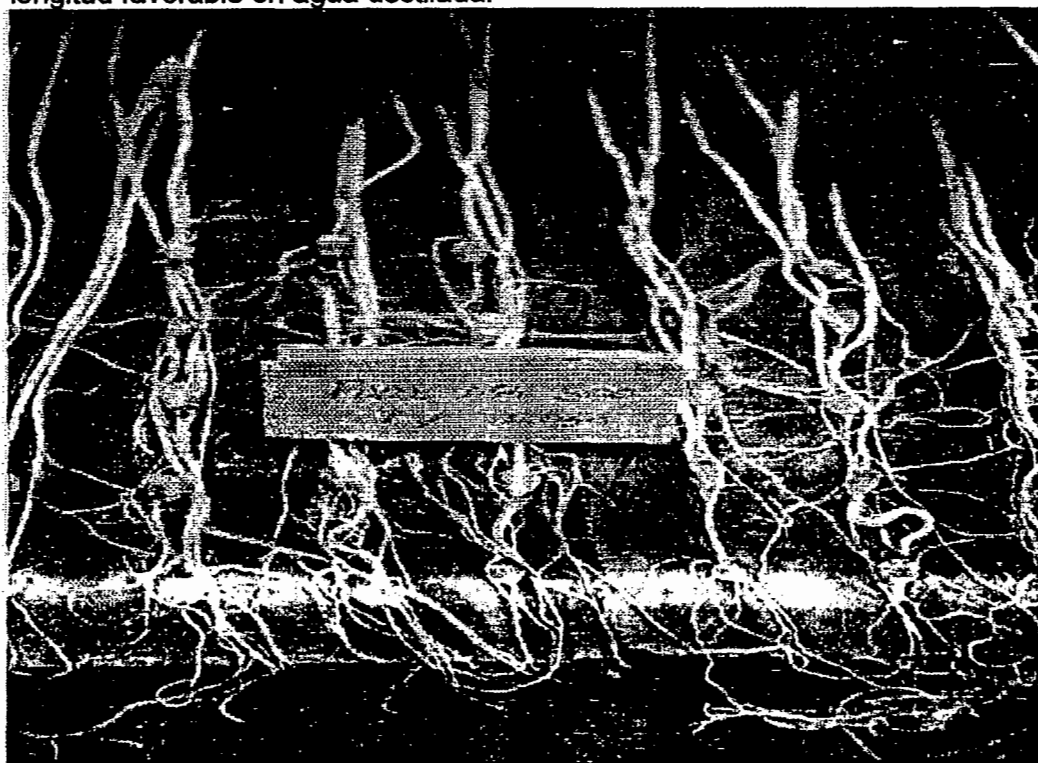


Figura 3A. Se puede apreciar que el material criollo Saltillo mantiene un buen porcentaje de germinación a la concentración de -10 bar, ya que presenta una buena longitud de plúmula y de raíz.

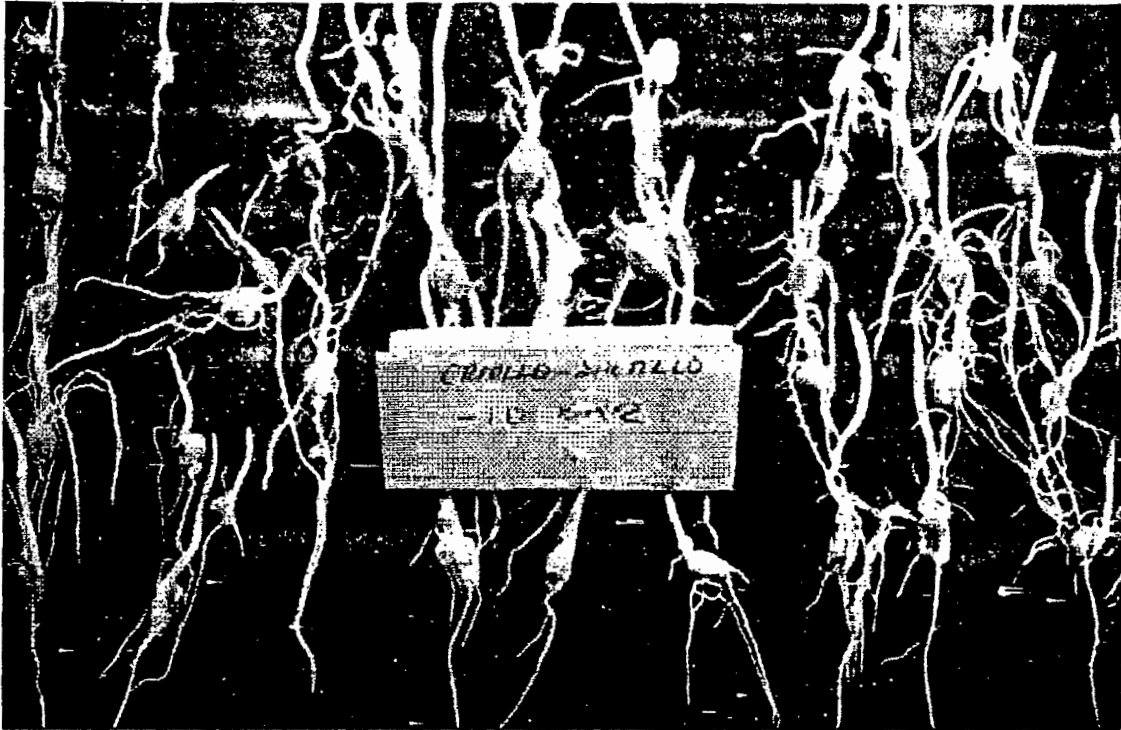


Figura 4A. El material criollo Saltillo se presenta con un elevado porcentaje de semillas germinadas a la concentración de -15 bar, aunque con corta longitud de sus raíces y plúmulas, ya que es considerado como material tolerante la imagen como tal lo manifiesta.



Figura 5A. POB 501 muestra la longitud de plúmula que alcanza considerando que no se presentan condiciones de estrés hídrico, ya que se agregó agua destilada como testigo.



Figura 6A. El material POB 501 que como testigo había mostrado mayor longitud de plúmula y de raíz, se observa el decremento de dicha longitud en la solución de manitol a -10 bar.

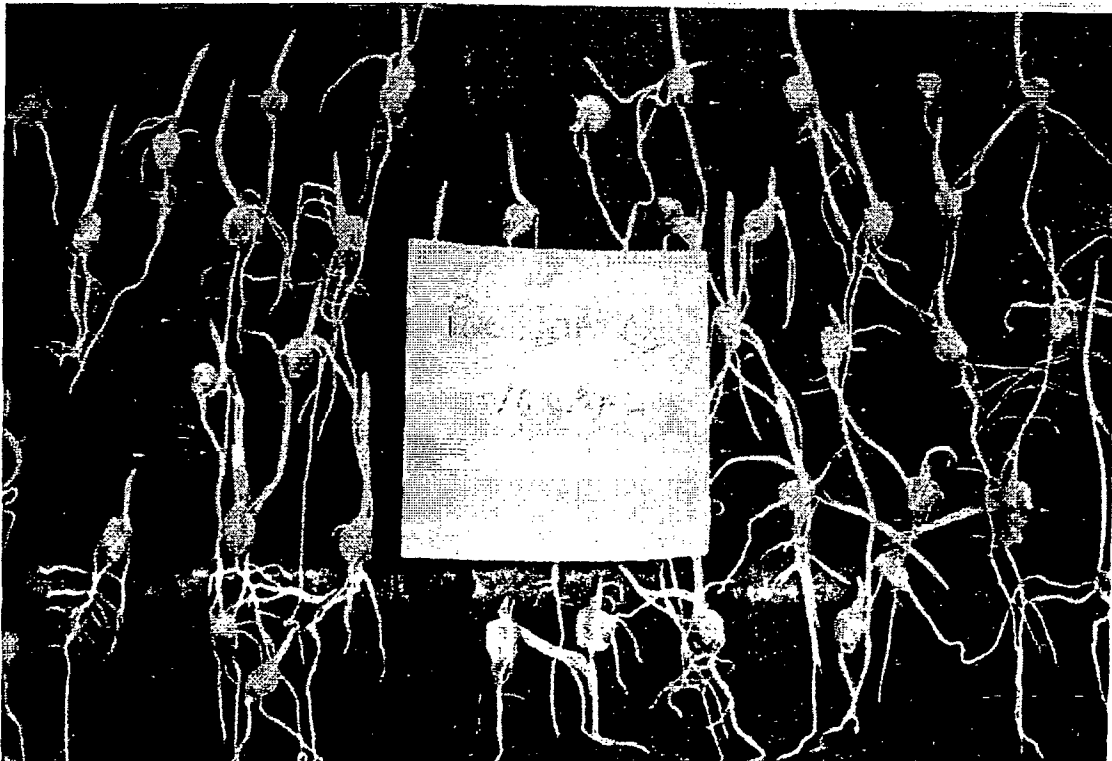


Figura 7A. Gráfica presenta los porcentajes de germinación.
(Datos sin transformar).

