

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**"EVALUACION DE 23 HIBRIDOS DE MAIZ (*Zea mays*) PARA  
SU VIGOR DE LA PLANTULA Y RESISTENCIA A DIFERENTES  
FACTORES DE ESTRES"**

**TESIS**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS  
CON ESPECIALIDAD EN BOTANICA**

**PRESENTA**

**JOAQUIN ROGELIO FERNANDEZ SOLIS**

**SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.**

**OCTUBRE DE 1997**

TM

SB191

.M2

F4

c.1



1080080881

11176

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



"EVALUACION DE 28 HIBRIDOS DE MAIZ (Zea mays) PARA  
SU VIGOR DE LA PLANTULA Y RESISTENCIA A DIFERENTES  
CONDICIONES DE ESTRES"

## TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

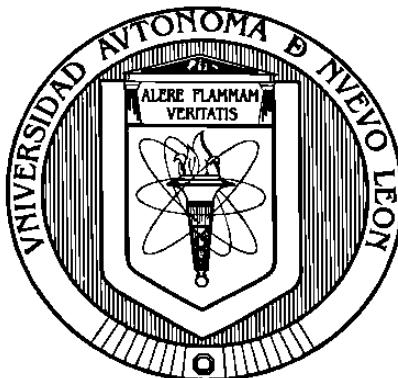
MAESTRO EN CIENCIAS  
CON ESPECIALIDAD EN BOTANICA

PRESENTA

JOAQUIN ROGELIO FERNANDEZ SOLIS

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.      OCTUBRE DE 1997

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**"EVALUACIÓN DE 23 HÍBRIDOS DE MAÍZ (*Zea mays*) PARA SU  
VIGOR DE LA PLÁNTULA Y RESISTENCIA A DIFERENTES  
FACTORES DE ESTRÉS"**

**T E S I S**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO  
ACADÉMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS  
CON ESPECIALIDAD EN BOTÁNICA**

**PRESENTA:**

**JOAQUÍN ROGELIO FERNÁNDEZ SOLÍS**

BUMI RAU' RANGEL FUND  
UANL  
FONDO  
TESIS  
(80881)

BUMI RAU' RANGEL FUND  
UANL  
FONDO  
TESIS MAESTRIA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

**'EVALUACIÓN DE 23 HÍBRIDOS DE MAÍZ (Zea mays) PARA SU  
VIGOR DE LA PLÁNTULA Y RESISTENCIA A DIFERENTES  
FACTORES DE ESTRÉS'**

**T E S I S**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO  
ACADÉMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS  
CON ESPECIALIDAD EN BOTÁNICA**

**PRESENTA:**

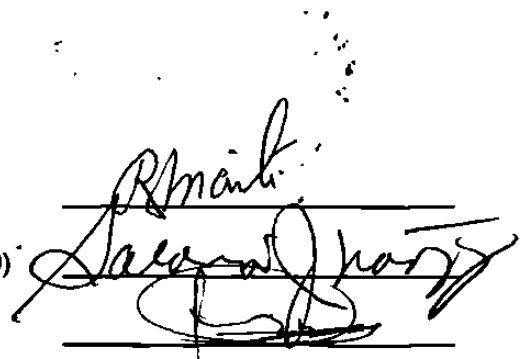
**JOAQUÍN ROGELIO FERNÁNDEZ SOLÍS**

**COMISIÓN DE TESIS:**

**DR. RATIKANTA MAITI (DIRECTOR)**

**DR. SALOMÓN MARTÍNEZ LOZANO (SECRETARIO)**

**DR. RAHIM FOROUGHBAKHCH (VOCAL)**



Handwritten signatures of the thesis committee members over horizontal lines.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente al Dr. R. K. Maiti, el apoyo brindado en la dirección de la presente tesis, dejando plasmados sabios consejos, sugerencias, comentarios así como su amistad personal.

Al Dr. Rahim Foroughbakhch, por su ayuda manifestada en la interpretación de los análisis estadísticos, sus consejos y sugerencias en la revisión del escrito, así mismo sus correcciones y modificaciones.

Al Dr. Salomón Martínez Lozano, por su auxilio en la revisión de la presente y su apoyo entusiasta durante el desarrollo de cada uno de los experimentos desarrollados.

A los Biól. Rosa Ma. González García, Ma. Elena Montero Villalobos y Javier Ruíz Steele por su ayuda en la preparación, medición y selección de los materiales utilizados, así como la madurez mostrada en los meses que duró el trabajo de laboratorio.

Al M.C. Ismael Hernández Torres, por su cooperación al proporcionar todas las semillas de maíz utilizadas en la etapa experimental.

Al M.C. Roberto Mercado Hernández, por su colaboración en la preparación de los materiales utilizados durante la presentación de dicha investigación en los diversos seminarios.

A la C.P. Martha E. Arizpe Tijerina, Directora de la Preparatoria Tres, por el apoyo brindado durante el tiempo que duró el estudio de la maestría al mostrar sabiduría en todo momento.

Al Lic. José A. Galindo Mora, Director de la Preparatoria Uno, por su ayuda administrativa, sin la cual sería imposible concluir esta maestría.



Al Ing. Juan E. Moya Barbosa por su ofrecimiento al realizar integralmente este escrito en los espacios de la Preparatoria Tres.

Al Biol. Adolfo Reyes García, por su cooperación en el diseño experimental inicial y preparación de algunos materiales utilizados en la fase de laboratorio.

Mi especial agradecimiento a la Srita. María Cecilia Aceves Hernández, por su ayuda en la elaboración de este trabajo, por su paciencia y comprensión hacia mi persona mostrada durante todo el tiempo en que se realizó este escrito.

## DEDICATORIA

### Para Velia Raquel

Se levantan sus hijos y la llaman  
bienaventurada;  
Y su marido también la alaba:  
Muchas mujeres hicieron el bien;  
Mas tú sobrepasas a todas  
Pr. 31:28-29

### Rogelio

Porque yo también fui hijo de mi  
padre,  
Delicado y único delante de mi  
madre.  
Y él me enseñaba, y me decía:  
Retenga tu corazón mis razones,  
Guarda mis mandamientos y vivirás.  
Pr. 4:3-4

### Amelia

El amor es sufrido, es benigno;  
el amor no tiene envidia,  
el amor no es jactancioso,  
no se envanece;  
no hace nada indebido,  
no busca lo suyo,  
no se irrita,  
no guarda rencor;  
no se goza de la injusticia,  
mas se goza de la verdad.  
Todo lo sufre, todo lo cree,  
todo lo espera, todo lo soporta.  
Y ahora permanece la fe,  
la esperanza y el amor, estos tres;  
pero el mayor de ellos es el amor.  
1.Co.13:4-7,13

**Julia A.**

Adquiere sabiduría, adquiere inteligencia;  
No te olvides ni te apartes de las razones  
de mi boca;  
No la dejes, y ella te guardará;  
Amala, y te conservará  
Pr. 4:5,6

**Joaquín R.**

Cuando la sabiduría entrare en tu  
corazón,  
Y la ciencia fuere grata a tu alma,  
La discreción te guardará;  
Te preservará la inteligencia.  
Pr. 2:10,11

**Florinda Y.**

Compra la verdad, y no la vendas;  
La sabiduría, la enseñanza y la inteligencia.  
Mucho se alegrará el padre del justo,  
Y el que enjendra sabio se gozará con él.  
Pr. 23:23,24

# INDICE

Pág.

## Resumen

|  |    |
|--|----|
| 1. Introducción.....   | 1  |
| 2. Antecedentes  |    |
| 2.1 Sequía.....  | 4  |
| 2.2 Salinidad.....   | 6  |
| 2.3 Alta temperatura.....  | 8  |
| 3. Objetivos.....  | 10 |
| 4. Hipótesis.....  | 11 |
| 5. Metodología   |    |
| 5.1 Evaluación y selección de 23 genotipos de maíz<br>por su resistencia a la sequía.....        | 12 |
| 5.2 Evaluación y selección de 23 genotipos de maíz<br>por su resistencia a la salinidad.....     | 13 |
| 5.3 Evaluación y selección de 23 genotipos de maíz<br>sometidos a altas temperaturas (38°C)..... | 14 |
| 6. Resultados  |    |
| 6.1 Evaluación y selección de 23 genotipos de maíz<br>por su resistencia a la sequía.....        | 15 |

|   |    |
|---|----|
| 6.2 Evaluación y selección de 23 genotipos de maíz<br>por su resistencia a la salinidad.....        | 17 |
| 6.3 Evaluación y selección de 23 genotipos de maíz<br>por su resistencia a la alta temperatura..... | 19 |
| 7. Discusión.....   | 28 |
| 8. Conclusiones.....  | 35 |
| 9. Literatura Citada.....   | 37 |

## INDICE DE TABLAS

| Tabla   | Pág. |
|---|------|
| 1. Resultados de análisis de varianza para las variables en plántulas de maíz en función de sequía (valores de F calculada).....                              | 15   |
| 2. Valores promedio de los atributos medidos y su desviación estandar de 23 genotipos de maíz sometidos a la condición de sequía.....                         | 16   |
| 3. Resultados de análisis de varianza para las variables cuantitativas de plántulas de maíz en función de salinidad (valores corresponden a F calculada)..... | 17   |
| 4. Valores promedio y desviación estandar de 23 genotipos de maíz sometidos a la condición de salinidad.....  | 18   |
| 5. Resultados de análisis de varianza para las variables en estudio, en función de alta temperatura.....  | 19   |
| 6. Comparaciones múltiples de los valores promedio y la desviación estandar de 23 genotipos de maíz sometidos a la condición de alta temperatura.....         | 20   |

|  |    |
|--|----|
| 7. Índice de tolerancia en base al peso seco de tallo (g) de 23 genotipos de maíz evaluados por separado bajo condiciones de sequía, salinidad y alta temperatura.....         | 21 |
| 8. Comparación de medias por el método Tukey de 23 genotipos de maíz evaluados bajo condiciones de salinidad.....  | 22 |
| 9. Índice de tolerancia en base al peso seco total (g) evaluados por separado bajo condiciones de sequía, salinidad y alta temperatura.....                                    | 23 |
| 10. Comparaciones múltiples entre las medias de diferentes atributos mediante la prueba Tukey bajo condiciones de sequía.....  | 25 |
| 11. Comparaciones múltiples de las medias de peso seco de tallo y de raíz de 23 genotipos de maíz mediante la prueba Tukey evaluados bajo condiciones de alta temperatura..... | 26 |

## INDICE DE FIGURAS

- Fig.1 Diseño experimental para el estudio de los 23 genotipos sometidos a diferentes factores de estrés.
- Fig.2 1) Muestra el genotipo B-830 resistente a sequía.  
a) Control b) Tratamiento.  
2) Muestra el genotipo C-220 sensible a sequía.  
a) Control b) Tratamiento
- Fig.3 1) Muestra los genotipos sometidos al factor de salinidad.  
a) D-878 resistente b) B-830 sensible.  
2) Muestra el genotipo B-830  
a) Control b) Tratamiento.



## RESUMEN

Los principales problemas de la agricultura mexicana en zonas áridas y semiáridas del país son: la falta de agua para el riego, las altas temperaturas, la salinidad, la textura y la exposición del suelo, todos ellos interfieren en el buen desarrollo de las plantas y la producción agrícola. La salinidad y variación climática extremas son factores perjudiciales en el establecimiento de productos agrícolas interfiriendo en los procesos fisiológicos de cultivos impidiendo de esta manera el desarrollo de la producción floral y frutal de especies vegetales. En base a lo anteriormente mencionado y para obtener la información básica sobre la adaptabilidad de maíz a condiciones controladas, se evaluaron 23 genotipos de maíz para determinar su resistencia a los factores de sequía, salinidad y alta temperatura. Se utilizaron tres niveles de estrés hídrico de 10%, 15% y 20% con el fin de determinar el efecto de la sequía. Se preparó una concentración de 0.2 M de cloruro de sodio para evaluar el factor de salinidad y finalmente se aplicó una temperatura de 38°C, considerada como alta temperatura en forma independiente. La unidad experimental consiste en vaso de unicel donde se sembraron 5 semillas de maíz en salinidad se utilizó perlita, en sequía y altas temperaturas el sustrato fue suelo fértil, empleando el diseño de bloques al azar. Los genotipos fueron seleccionados por las variables altura de tallo, longitud de raíz, altura de tallo total, peso seco de tallo y raíz, siendo seleccionados lo genotipos D-830 como resistentes a sequía de acuerdo al índice de tolerancia de peso seco de tallo y raíz, el B-878 en base a su peso seco de tallo y raíz se consideró menos sensible a la

salinidad, el B-830 es resistente a la alta temperatura porque así lo demuestra el peso seco de la raíz y tallo. Los mismos parámetros se utilizaron para determinar la sensibilidad de los genotipos C-220 a la sequía, el genotipo B-830 a la salinidad y el genotipo C-220 a las altas temperaturas. El análisis estadístico utilizado fue ANOVA para probar el efecto de los diferentes factores de estrés sobre las diferentes variedades. También se utilizó la prueba de comparaciones múltiple de Tukey para determinar la resistencia de los diversos genotipos a los factores de sequía, salinidad y alta temperatura.

## INTRODUCCION

El maíz crece en todo el mundo bajo un amplio rango de climas. Desde la cultura prehispánica, el maíz representa el alimento básico de la mayoría de la gente en México y países latinoamericanos, el cual es de gran interés en México, en su cultura y economía.

Desde 900 años después de Cristo a 1,300, hubo un cambio en la agricultura, los factores que produjeron el cambio fueron, formación de variedades de cultivo avanzado, mejor selección de los sitios de siembra y tipo de cultivo. El maíz se introdujo en el medio oeste alrededor de 600 años después de Cristo, se adaptó pobremente a la estación de crecimiento corto y fotoperíodo de latitud templada. Después de 1,100 años se desarrolló el maíz (Northern Flint) con mejor respuesta al fotoperíodo, rendimiento, resistencia a las enfermedades y período de crecimiento (Gallagher, 1989).

México es un centro de origen de maíz donde varias especies crecen en abundancia en ambientes diversos. Varios factores influyen en la diversificación del maíz en México; a partir de razas primitivas; de la influencia de variedades exóticas en parte del sureste del país, el teosintle se cruzó con otras razas formando nuevas variedades. La condición geográfica favorece una diferenciación rápida y una diversificación debido a factores muy variados. La clasificación del maíz considera diferentes caracteres como mazorca, espiga y plantas, pero también considera las características genéticas, citológicas, fisiológicas y agronómicas (Gallagher, 1989; Galinant, 1992; Maiti, 1997).

Desde principios del siglo, los científicos han intentado obtener un maíz más nutritivo. Aunque los cereales proporcionan más del 70% de la proteína que consume la humanidad, constituye un alimento de baja cantidad y calidad proteínica. En cuanto a su valor nutritivo, la mayor deficiencia del maíz consiste en que contiene poco triptofano y lisina, aminoácidos esenciales que el hombre y los animales monogástricos deben obtener de sus alimentos, ya que no pueden sintetizarlos, Anónimo, (1977).

La población humana está creciendo con mayor rapidez que la producción de alimentos en muchas áreas del mundo. Se necesitan cerca de 726.4 Kg de grano por persona por año para proveer la dieta común rica en proteínas en los Estados Unidos. Ésta contrasta con 181.6 Kg anuales por persona, de que se disponen en los países menos desarrollados. El grano de maíz maduro en base a la materia seca, contiene aproximadamente 77% de almidón, 2% de azúcar, 9% de proteínas, 5% de aceite, 5% de pentosanas y 2% de cenizas. Las cenizas contienen calcio, magnesio, fósforo, aluminio, hierro, sodio, potasio y cloro (Jugenheimer, 1981).

La agricultura mexicana se enfrenta a grandes problemas como son la falta de agua para riego, altas temperaturas ambientales y salinidad edáfica, elementos que existen en ciertas regiones cultivables del país y son impedimentos para el buen crecimiento de la planta reflejando su efecto en la producción al término del desarrollo.

En 1980, México importó 4.1 millones de toneladas de maíz, en 1981 dicho volumen llegó a solo 2.9 y en 1982 a 2.5 millones de toneladas para aumentar en 1983 a 3.9 y volver a disminuir en

1984 (2.5) y en 1985 a 1.6 millones de toneladas. La producción de maíz en 1973 fue de 8.6 millones de toneladas y en 1985 fue de 14 millones de toneladas, en 20 años (1960-1980) el rendimiento del maíz se incrementó de 0.975 a 1.77 toneladas por hectárea, es decir un 82%.

En la región noreste de México el maíz es uno de los cultivos de temporal más extensamente practicado, de ahí que el estudio y la investigación que se pretende con este trabajo es el de seleccionar las variedades de maíz que muestran más resistencia a los distintos factores de estrés como: sequía, salinidad y alta temperatura, para mantener y acrecentar las parcelas cultivadas con este cereal y recuperar el terreno perdido en la producción de maíz de no hacerlo la cultura mexicana corre el peligro de perder una de las bases más sólidas que le confieren identidad propia.

## ANTECEDENTES

En México las condiciones biogeográficas hacen que los ambientes de una región a otra varíen notablemente así encontramos campos agrícolas en una región tropical como campos agrícolas en las zonas semiáridas donde las condiciones son muy adversas para el buen desarrollo de algunos cultivos. También se deben considerar las diferencias que existen en los requerimientos de humedad del suelo para la germinación de semillas de distintas especies (Adebona y Ayisire, 1979). Los cultivos siempre se verán afectados por los siguientes factores como sequía, altas y bajas temperaturas, salinidad, suelos con baja fertilidad, plagas y enfermedades, las que limitan significativamente el desarrollo y productividad del cultivo (Maití et al; 1992).

### **Sequía**

Las pruebas de laboratorio donde las condiciones ambientales pueden ser controladas son los métodos más satisfactorios para evaluar la resistencia a sequía en variedades de maíz (Saks, 1941). Por lo tanto el déficit hídrico provocado por la ausencia de lluvias durante el año hacen que este factor sea estudiado no solamente en el campo de cultivo sino también, bajo condiciones de laboratorio, así se han encontrado que las plantas tolerantes a sequía bajo condiciones de campo es frecuentemente dudosa debido a las constantes fluctuaciones del medio ambiente, ya que dichas pruebas deberán completarse con técnicas bajo condiciones de laboratorio (Kilen y Andrew, 1969).

Las plantas del maíz al crecer bajo estas condiciones de

estrés se ve afectado enormemente su crecimiento, su establecimiento, la extensión de la hoja, área foliar, y el inicio de los meristemas reproductivos así como la calidad de grano (Withman y Wilson, 1965) la sequía afecta la producción del maíz variando en las diferentes etapas de crecimiento afectando la materia seca y la producción de grano (Thakur y Rai, 1984; Hetrick *et al.*, 1987; Hall, 1988 y Sinclair *et al.*, 1990). Lo mismo se observa en los procesos fisiológicos que se ven afectados en mayor a menor grado, su efecto depende de la intensidad, frecuencia y duración del equilibrio, así como el estado de crecimiento y desarrollo de la planta (Sivori *et al.*, 1980). También se han encontrado cambios morfológicos de adaptación al déficit hídrico, como el área foliar que disminuye, y la longitud y profundidad de raíces que son mayores bajo este factor (Castro, 1987). Los vegetales que resisten sequía poseen algunos mecanismos, como un sistema radicular profundo y bien ramificado (Turner y Begg, 1981; Sullivan, 1983; Schulze, 1986).

Los vegetales que han sobrevivido al déficit de agua desarrollaron en sus tejidos internos sustancias hidrofílicas en el protoplasma de alto peso molecular como proteínas y algunos carbohidratos, como el algínico y polisacáridos de muchas algas marinas (Rojas, 1959; Bidwell, 1976). La síntesis de proteínas se redujo en cortes de plántulas de 4 días, el mesocotilo incubado en glycol polietileno tuvieron cambios cuantitativos en el patrón de síntesis de proteínas en respuesta al estrés hídrico (Bewley *et al.*, 1983; Voetberg y Sharp, 1991). La sequía induce cambios bioquímicos en plántulas de maíz. El incremento en esteroides libres y su descenso en fosfolípidos en hojas bajo estrés hídrico condicionan la formación del esteroide: fosfolípido molar

3-1 (Navari-Izzo *et al.*, 1989).

Los aminoácidos como la prolina, leucina, isoleucina, arginina, glutamina y el contenido de ácido alfa-aminobutírico en hojas y raíces de maíz aumentaron con el incremento del estrés de humedad del suelo (Kham y Singh, 1983). En forma específica el aminoácido prolina puede ser usado como indicador de resistencia a sequía en maíz y frijol (Nir *et al.*, 1970; Patil *et al.*, 1984; Kapoya *et al.*, 1985; Grzesiak, 1991).

### **Salinidad**

La salinidad edáfica se debe a que en esos lugares la precipitación es baja y las temperaturas son muy elevadas, las sales son acumuladas cerca de la superficie de suelo, ya que éstas son arrastradas hacia abajo en épocas de lluvia, pero por la gran evaporación las sales son retornadas nuevamente a la superficie (Sandoval, 1991). La salinidad causa pérdidas en muchas tierras agrícolas, así como producción en extensas zonas cultivadas en el mundo, de ahí que la utilización de variedades resistentes es la solución a este problema. El desarrollo de maíz se redujo cuando se irrigó con agua salada (5.3 mg/cm) en períodos de 1-3 días bajo condiciones de invernadero (Schlieff, 1983), y los mecanismos por los cuales la salinidad excesiva reduce el crecimiento de la planta no son bien conocidos. Algunos indican que la salinidad reduce la conductividad hidráulica en las raíces de algunas leguminosas, sin embargo, la salinidad produce pequeños efectos en la conductividad de la raíz en cereales con cierta tolerancia a sal (Evlagon *et al.*, 1992).



Se han estudiado los efectos del NaCl (1MPa de presión osmótica) en condiciones óptimas de humedad sobre el desarrollo y se encontró que el efecto se manifiesta más en el crecimiento de la planta, que en la tasa de germinación. Al incrementar el contenido salino de la solución de 0 a 10 ds/m provocaron una disminución en la producción de la materia seca de tallo y raíz (Soliman, 1988).

De acuerdo con Lal *et al.*; (1986) los altos niveles de salinidad disminuyen el porcentaje de la germinación y del peso de la planta. El efecto de la salinidad en el crecimiento de plantas de 5 días originaban la reducción de la longitud del tallo y de la raíz, así como el peso específico de la hoja y área foliar (Mishra *et al.*; 1994).

Cramer, (1992) menciona que la salinidad causa muchos cambios fisiológicos y morfológicos en las plantas, sus efectos pueden ser mitigados por el calcio, aumentando su extensión foliar en las plantas estresadas con sal y aumentando su conducción hidráulica. También la salinidad reduce el potencial hídrico en las hojas de maíz, reduciendo la longitud y masa seca del tallo (Izzo *et al.*, 1991), afectando la elongación de la hoja y el transporte hídrico en los vasos de xilema en el maíz, así como su longitud y conductividad de la raíz (Yeo y Flower, 1980; Zidan *et al.*, 1990; Azaizeth y Steudle, 1991; Evlagón *et al.*, 1992; Garcia *et al.*, 1992). Existe una gran especificidad entre maíces isogénicos híbridos en la acumulación de betaína (Rhodes *et al.*, 1989).

## **Alta Temperatura.**

La acción fundamental de la temperatura a nivel celular y molecular afecta dos funciones básicas del metabolismo: la migración de solutos a través de la membrana, las cuales son reacciones intermoleculares (Bourdu, 1984), y un inadecuado suministro de agua. Las temperaturas que el maíz tolera para su buen desarrollo están entre 23°C y 32°C, siendo las temperaturas subletales 40°C y las letales a 45°C (Zhang *et al*; 1994, Maití *et al*; 1996).

Las plántulas de maíz sometidas a altas temperaturas han mostrado una variabilidad entre los genotipos, así como su variabilidad en la respuesta del crecimiento y la acumulación de materia seca (Martiniello y Lorenzoni, 1985). En altas temperaturas el vigor de la altura de las plántulas, en la materia seca de hoja y raíz muestran una conversión más eficiente que las plántulas en baja temperatura (14/12°C o 24/22°C). Esto está asociado con la actividad del NADP malato dehidrogenasa y fosfofructoquinasa (Stamp, 1982). Algunos genotipos de maíz que crecen en presencia de ABA o triadimefon mostraron un incremento en la resistencia al efecto de la temperatura subletal 40°C o letal 45°C, se aplicó dichas sustancias en la raíz. La capacidad a resistir el calor fue inducido en la raíz y el tallo (Bonham-Smith *et al*; 1988).

Las líneas híbridas mostraron una disminución en la respiración mitocondrial cuando las temperaturas variaron de 25°C-18°C, pero cuando la temperatura disminuyó a 7°C el descenso en la respiración fue muy marcado (Yang, 1984). A temperaturas por debajo, de 8°C afecta la emergencia de la plántula de

maíz (Orsini y Ariaga, 1984). Las respuestas del maíz al frío se manifiestan en forma bioquímica, molecular y fisiológica, ya que durante la aclimatación la producción de enzimas antioxidantes tales como catalasa 3 y guicol peroxidasa se acumularon a 4°C en las plántulas no adaptadas, la acumulación de peróxido llegó a niveles que perjudicaron los tejidos (Prasad *et al*; 1994).

Incrementos en la síntesis de proteínas provocados por el choque térmico en el maíz produjeron un aumento en el mRNA que codifica la síntesis de proteínas del choque térmico (HSP). Inducción de HSP se correlacionaron con el desarrollo de la tolerancia al calor. HSP79-83 fueron solubles mientras que HSP29 se asocia con mitocondrias. HSP25 y 72 se asociaron con el retículo endoplasmático. HSP18 y 70 se asociaron con la membrana plasmática ya que la reparan de los daños provocados por el calor (Cooper, 1986). La asociación de proteínas de choque térmico con las mitocondrias aisladas *in vitro* se dió a 41°C mientras que las proteínas no se asociaron a temperatura normal (Voinikov *et al*; 1988).

## OBJETIVOS

- 1.- Evaluar el comportamiento de 23 genotipos de maíz mediante la determinación de su resistencia a sequía, salinidad y alta temperatura en etapas de plántula.
- 1.- Seleccionar los mejores genotipos resistentes a los factores mencionados para su utilización y recomendación en el campo agrícola.

## HIPÓTESIS

Existe variabilidad en el comportamiento entre los genotipos de maíz para su resistencia a los factores de sequía, salinidad, y alta temperatura.

## METODOLOGÍA

El presente trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Botánica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

El material genético consistió en semillas de diversos genotipos de maíz, los cuales fueron proporcionado por diversas casas comerciales regionales, como Asgrow, Cargill, Dekalb, Pionner. Los siguientes genotipos fueron seleccionados para la realización del experimento: A-7485, A-7419, A-7545, A-7573, B-833, B-830, C-891, C-343, C-381, C-520, C-385, C-220, D-856, D-880, D-878, D-9141, D-9543, D-9534, 3288, 3292, 3002W, 3066W, 447Aspros.

Los genotipos mencionados fueron sometidos a tres experimentos los cuales fueron diseñados en forma independiente, así evitando la interacción múltiple entre los factores de estrés, de la siguiente manera.

Evaluación y selección de 23 genotipos de maíz por su resistencia a la Sequía.

Para este experimento se sembraron 5 semillas de cada genotipo en vasos de unicel de 300 ml de capacidad. Se utilizó suelo cribado como sustrato y una vez sembrada la semilla se regaron los vasos con suficiente agua destilada para provocar la germinación y emergencia de las plántulas. Los vasos se distribuyeron en un diseño completamente al azar utilizando un

diseño bifactorial con 3 repeticiones para cada genotipo. (fig.1) Después de la germinación se llevó a cabo un aclareo y se dejaron solamente tres plantas por vaso, agregando al testigo agua cada 72 horas, el tratamiento se castigó primeramente a un 20% de humedad para observar algunos síntomas, al no mostrar ningún indicio se procedió a castigarla al 15% y 10% de humedad. A los 15 días las plantas fueron extraídas y se midió la altura de tallo, longitud raíz y altura de tallo total, después se pesó la materia seca de raíz y tallo.

Evaluación y selección de 23 genotipos de maíz por su resistencia a la Salinidad.

Para este experimento se sembraron 5 semillas de cada genotipo en vasos de unicel de 300 ml de capacidad. Se utilizó perlita como sustrato y una vez sembradas las semillas se regaron los vasos del testigo con agua destilada, el tratamiento con solución al 0.2 M de NaCl, para provocar la germinación y emergencia de las plántulas. El testigo se colocó en una superficie elevada para impedir contaminación con la solución salina. Los vasos se dispusieron en un diseño completamente al azar utilizándose un diseño bifactorial de con 3 repeticiones. Posteriormente se realizó un aclareo y se dejaron 3 plantas por vaso a los cuales se les agregó 75 ml de agua destilada, cada 72 horas, después de 15 días las plantas fueron extraídas y se les midió la altura de tallo, longitud de raíz, altura de tallo total, después se pesó la materia seca de raíz y tallo.



Fig. 1 Diseño experimental para el estudio de los 23 genotipos sometidos a diferentes factores de estrés.



## Evaluación y selección de 23 genotipos de maíz sometidos a altas temperaturas (38°C).

Para este experimento se sembraron 5 semillas de cada genotipo en vasos de unicel de 300 ml de capacidad. Se utilizó tierra cribada como sustrato y una vez sembradas las semillas se regaron los vasos con agua destilada para provocar la germinación y emergencia de las plántulas. Colocándose después en una cámara bioclimática con temperatura de 38°C y un fotoperíodo de 14 horas. Los vasos se dispusieron en un diseño completamente al azar con arreglo bifactorial con 3 repeticiones. Posteriormente se llevó a cabo un aclareo y se dejaron 3 plantas por vaso a los cuales se les agregó 75 ml de agua destilada cada 72 horas. Después de 15 días las plantas se extrajeron y se pesó la materia seca de raíz y tallo.

Con los resultados obtenidos de las variables estudiadas se sometieron a los análisis estadísticos por medio de un paquete Statgraphics versión 4.0, aplicando el análisis de varianza para detectar el efecto de la salinidad, sequía y alta temperatura, sobre el comportamiento de plántulas de maíz; los valores promedio de diferentes atributos fueron comparados mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey (ZAR, 1996) para determinar la resistencia de los genotipos a los diversos factores de estrés y de esta manera seleccionar los genotipos de maíz más resistentes y susceptibles a los estrés antes mencionados.

## RESULTADOS

### Evaluación y selección de 23 genotipos de maíz por su resistencia a la Sequía

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 2), mostró que existe una diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ ) entre las variables estudiadas para los genotipos en estudio, excepto para altura de tallo y longitud de raíz.

**Tabla 1.-** Resultados de análisis de varianza para las variables en plántulas de maíz en función de sequía (Valores de F calculada).

| F.V.               | G.L. | A.T. (cm)             | L.R. (cm)             | A.T.T. (cm) | P.S.T. (mg)            | P.S.R. (mg) |
|--------------------|------|-----------------------|-----------------------|-------------|------------------------|-------------|
| <b>Genotipo</b>    | 22   | 2.491**               | 3.565**               | 1.752**     | 3.6226**               | 2.2573**    |
| <b>Tratamiento</b> | 1    | 0.064 <sup>N.S.</sup> | 0.415 <sup>N.S.</sup> | 10.04**     | 0.1373 <sup>N.S.</sup> | 20.9585**   |
| <b>Interacción</b> | 22   | 2.386**               | 3.428**               | 2.112**     | 1.1674 <sup>N.S.</sup> | 2.2762**    |

**\*\*  $P < 0.01$    \* $P < 0.05$    N.S. = No Significativo**

**Altura de tallo (A.T.), longitud de raíz (L.R.), altura total de tallo (A.T.T.),  
peso seco tallo (P.S.T.), peso seco raíz (P.S.R.)**

Para las variables evaluadas se hizo una comparación múltiple de medias y basadas en los resultados se encontró que el genotipo 3066 W mostró los valores más altos para la altura de tallo. El genotipo D-9141 fue el que mostró el valor más bajo para dicha variable. El genotipo A-7419 obtuvo el valor más alto para la longitud de raíz y el genotipo C-220 mostró el valor más bajo para esta variable. En cuanto a la altura de tallo total el

genotipo C-520 obtuvo el valor más alto y el genotipo B-830 representó el valor más bajo para este parámetro. En el peso seco de tallo el genotipo 447 Aspros mostró el valor más alto. El genotipo B-830 presentó el valor más bajo para el peso seco de raíz, el genotipo A-7419 representó el valor más alto y el genotipo C-891 reveló el valor más bajo para dicha variable.

**Tabla 2.-** Valores promedio de los atributos medidos y su desviación estandar de 23 genotipos de maíz sometidos a la condición de sequía.

| Genotipo       | Altura   |            | Longitud  |            | Altura      |            | Peso Seco |            | Peso Seco |            |
|----------------|----------|------------|-----------|------------|-------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
|                | Tallo    |            | Raíz      |            | Tallo Total |            | Tallo     |            | Raíz      |            |
|                | Media    | Des. Estd. | Media     | Des. Estd. | Media       | Des. Estd. | Media     | Des. Estd. | Media     | Des. Estd. |
| 1.- A-7485     | 9.883ab  | 0.3429     | 24.567abc | 2,512      | 35.717a     | 2,571      | .2465bc   | 0.1158     | .0528ab   | .0265      |
| 2.- A-7419     | 11.000ab | 0.2887     | 25.917abc | 1.61       | 38.417a     | 2.61       | .2796ab   | 0.0507     | .0677a    | .0129      |
| 3.- A-7545     | 12.000ab | 0.2582     | 23.417abc | 1,469      | 39.667a     | 2,495      | .2851ab   | 0.0348     | .0519ab   | .0203      |
| 4.- A-7573     | 11.300ab | 0.1549     | 15.867ab  | 1,952      | 37.617a     | 1,883      | .2792ab   | 0.0565     | .0579ab   | .0287      |
| 5.- B-833      | 9.883ab  | 0.5594     | 23.317abc | 2,077      | 39.450a     | 2,914      | .2290bc   | 0.0763     | .0368ab   | .0414      |
| 6.- B-830      | 9.633ab  | 0.4971     | 15.850ab  | 1,895      | 30.683a     | 3,348      | .1307c    | 0.0658     | .0317ab   | .0315      |
| 7.- C-891      | 10.983ab | 0.1492     | 16.067ab  | 1,753      | 40.700a     | 3,006      | .2503bc   | 0.0328     | .0223b    | .0448      |
| 8.- C-343      | 10.867ab | 0.2753     | 16.633ab  | 1.48       | 36.517a     | 1,617      | .3261bc   | 0.0432     | .0380ab   | .0244      |
| 9.- C-381      | 11.067ab | 0.1283     | 22.333abc | 1,288      | 42.933a     | 3,25       | .2538abc  | 0.0679     | .0415ab   | .0215      |
| 10.- C-520     | 12.000ab | 1,183      | 18.667abc | 0.9632     | 45.417a     | 1,374      | .3046ab   | 0.1174     | .0475ab   | .0172      |
| 11.- C-385     | 9.083a   | 1.86       | 18.583abc | 4,044      | 35.250a     | 7,287      | .2278bc   | 0.0414     | .0295ab   | .0219      |
| 12.- C-220     | 11.117ab | 0.2535     | 14.733a   | 2,033      | 38.083a     | 3.06       | .2203bc   | 0.075      | .0305ab   | .0208      |
| 13.- D-856     | 11.867ab | 0.3888     | 22.333abc | 1,895      | 43.583a     | 1,325      | .2762ab   | 0.052      | .0453ab   | .0133      |
| 14.- D-880     | 12.167ab | 0.348      | 18.883abc | 1,265      | 42.817a     | 1,405      | .2501bc   | 0.0568     | .0452ab   | .0225      |
| 15.- D-878     | 10.583ab | 0.3004     | 23.667abc | 1,918      | 44.500a     | 1,741      | .2401bc   | 0.042      | .0403ab   | .0089      |
| 16.- D-9141    | 8.917a   | 1.82       | 17.133ab  | 3,561      | 32.483a     | 6,718      | .1837bc   | 0.0836     | .0282ab   | .0258      |
| 17.- D-9543    | 11.333ab | 0.1873     | 27.767a   | 1.68       | 36.800a     | 0.997      | .2156bc   | 0.1122     | .0598ab   | .0245      |
| 18.- D-9534    | 11.733ab | 0.3451     | 23.517abc | 1,368      | 38.600a     | 1,817      | .2523abc  | 0.0763     | .0598ab   | .0114      |
| 19.- 3288      | 11.417ab | 0.4029     | 20.583abc | 0.711      | 39.633a     | 1,217      | .1862bc   | 0.0598     | .0406ab   | .0312      |
| 20.- 3292      | 11.500ab | 0.4163     | 22.483abc | 0.744      | 39.750a     | 1,907      | .2239bc   | 0.0412     | .0405ab   | .0160      |
| 21.- 3002W     | 11.800ab | 0.2144     | 23.550abc | 1,957      | 39.717a     | 1,997      | .2246bc   | 0.1126     | .0293ab   | .0010      |
| 22.- 3066W     | 12.917a  | 0.2389     | 22.250abc | 0.8637     | 40.583a     | 0.9523     | .1995bc   | 0.053      | .0480ab   | .0225      |
| 23.- 447Aspros | 12.767a  | 0.4793     | 21.667abc | 0.9694     | 45.283a     | 3.0089     | .3844a    | 0.1036     | .0669a    | .0268      |

Evaluación y selección de 23 genotipos de maíz por su resistencia a la salinidad

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 3), mostró que existe una diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ ) entre las variables estudiadas excepto en la altura y peso seco de tallo.

**Tabla 3.-** Resultados de análisis de varianza para las variables cuantitativas de plántulas de maíz en función de salinidad (Valores corresponden a F calculada).

| E.V.        | G.L. | A.T. (cm)  | L.R. (cm) | A.T.T. (cm) | P.S.T. (mg) | P.S.R. (mg) |
|-------------|------|------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| Genotipo    | 22   | 1.357 N.S. | 2.439**   | 4.545**     | 1.262 N.S.  | 4.741**     |
| Tratamiento | 1    | 52.359**   | 760.990** | 1000.00**   | 349.025**   | 629.149**   |
| Interacción | 22   | 3.575**    | 35.420**  | 65.931**    | 18.339**    | 31.889**    |

\*\*  $P < 0.01$  \*  $P < 0.05$  N.S. = No Significativo

Altura de tallo (A.T.), longitud de raíz (L.R.), altura total de tallo (A.T.T.), peso seco de tallo (P.S.T.), peso seco raíz (P.S.R.).

Para cada una de las variables evaluadas se realizó una comparación múltiple de medias y en base a estos resultados se encontró que el genotipo 447 Aspros fue el que mostró los valores más altos para la altura de tallo. El genotipo B-830 mostró el valor más bajo para la misma variable. Siendo el genotipo D-9534 el que representó el valor más alto y el genotipo C-220 mostró el valor más bajo para la longitud de raíz. El genotipo C-891 fue el que obtuvo el valor más alto para la altura del tallo total, y el genotipo B-830 representa

el valor más bajo para la misma variable. Respecto al peso seco de la raíz se observó que el genotipo C-520 presenta el valor más alto, y el valor más bajo fue para C-220.

**Tabla 4.-** Valores promedio y desviación estandar de 23 genotipos de maíz sometidos a la condición de salinidad.

| Genotipo       | Altura  |            | Longitud  |            | Altura       |            | Peso Seco |            | Peso Seco  |            |
|----------------|---------|------------|-----------|------------|--------------|------------|-----------|------------|------------|------------|
|                | Tallo   |            | Raíz      |            | Tallo Total  |            | Tallo     |            | Raíz       |            |
|                | Media   | Des. Estd. | Media     | Des. Estd. | Media        | Des. Estd. | Media     | Des. Estd. | Media      | Des. Estd. |
| 1.- A-7485     | 6.739ab | 0.8385     | 7.9833a   | 2.6916     | 18.3217abcd  | 4.739      | .1428a    | 0.0625     | .0275abode | .0111      |
| 2.- A-7419     | 6.981ab | 0.838      | 8.9100ab  | 2.1821     | 19.1200abc   | 3.4447     | .1476a    | 0.0603     | .0263abode | .0107      |
| 3.- A-7545     | 7.157ab | 1.2001     | 9.9267ab  | 3.4973     | 17.7650abcd  | 5.2188     | .1894a    | 0.0792     | .0291abcd  | .0106      |
| 4.- A-7573     | 6.738ab | 0.8385     | 7.9833a   | 2.6916     | 18.2383abcd  | 4.7021     | .1696a    | 0.0722     | .0298abcd  | .0122      |
| 5.- B-833      | 6.910ab | 0.9632     | 11.0500ab | 3.4818     | 16.8600abcde | 4.4828     | .1106a    | 0.0471     | .0188abcd  | .0066      |
| 6.- B-830      | 5.152c  | 1.1011     | 7.6517a   | 2.7718     | 11.0833a     | 3.6859     | .1863a    | 0.1388     | .0119ab    | .0045      |
| 7.- C-891      | 7.222ab | 1.0342     | 8.2133ab  | 2.7742     | 20.7200a     | 5.2785     | .1898a    | 0.0811     | .0285abcd  | .0107      |
| 8.- C-343      | 6.353ab | 0.7318     | 10.0617ab | 3.5406     | 15.8233abcde | 3.9197     | .1526a    | 0.0598     | 0.0365ab   | .0112      |
| 9.- C-381      | 5.648ab | 0.7873     | 9.7717ab  | 2.759      | 16.2133abcde | 4.1927     | .1641a    | 0.0689     | .0257abcde | .0081      |
| 10.- C-520     | 7.807ab | 0.711      | 10.1483ab | 2.9234     | 20.7183a     | 4.8679     | .2155a    | 0.0858     | .0387a     | .0159      |
| 11.- C-385     | 5.567ab | 0.5846     | 7.5833a   | 2.0138     | 11.9000ab    | 4.4118     | .0848a    | 0.0343     | .0186abcd  | .0037      |
| 12.- C-220     | 6.797ab | 0.6509     | 6.7750a   | 2.4791     | 13.2716abc   | 3.2535     | .2175a    | 0.1299     | .0094e     | .0039      |
| 13.- D-856     | 7.145ab | 1.1325     | 9.5517ab  | 3.0626     | 16.4450abcde | 3.8027     | .1462a    | 0.0582     | .0219abcde | .0078      |
| 14.- D-880     | 6.542ab | 1.1421     | 10.1867ab | 3.5519     | 19.5800abc   | 5.2158     | .1778a    | 0.0735     | 0.0313abc  | .0071      |
| 15.- D-878     | 6.687ab | 0.779      | 10.8583ab | 3.4663     | 15.6500abcde | 4.8125     | .1690a    | 0.067      | .0283abcd  | .0078      |
| 16.- D-9141    | 5.875ab | 1.3048     | 8.4100ab  | 2.8973     | 14.7517abcde | 3.6409     | .0890a    | 0.0359     | .0128abc   | .0032      |
| 17.- D-9543    | 5.890ab | 1.185      | 7.4033a   | 2.9117     | 14.1767abcd  | 3.9239     | .1387a    | 0.0582     | .0261abcde | .0088      |
| 18.- D-9534    | 7.133ab | 1.0514     | 13.9133a  | 4.8167     | 18.0250abcd  | 4.4261     | .1847a    | 0.0737     | .0331b     | .0068      |
| 19.- 3288      | 9.110ab | 1.582      | 9.2467ab  | 2.863      | 14.3550abcde | 6.0004     | .1594a    | 0.0663     | .0295abcd  | .0107      |
| 20.- 3292      | 6.487ab | 0.8888     | 7.9133a   | 2.6077     | 15.3450abcde | 3.8804     | .1334a    | 0.0532     | .0265abcde | .0059      |
| 21.- 3002W     | 7.168ab | 1.0848     | 9.4867ab  | 2.8645     | 17.2817abcde | 4.8902     | .1422a    | 0.0563     | .0273abcde | .0049      |
| 22.- 3066W     | 8.402ab | 0.544      | 12.2833ab | 3.8207     | 16.9600abcde | 4.7507     | .1157a    | 0.0467     | .0271abcde | .0102      |
| 23.- 447Aspros | 11.368a | 4.4897     | 7.2917a   | 2.027      | 20.2850ab    | 5.2516     | .2469a    | 0.1019     | .0370ab    | .0105      |

Evaluación y selección de 23 genotipos de maíz por su resistencia a la alta temperatura

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 5), mostró que existe una diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ ) entre los genotipos y atributos medidos en función de alta temperatura.

**Tabla 5.-** Resultados de análisis de varianza para las variables en estudio, en función de alta temperatura.

| F.V.        | G.L. | P.S.T. (mg)            | P.S.R. (mg)            |
|-------------|------|------------------------|------------------------|
| Genotipo    | 22   | 7.3780**               | 3.7330**               |
| Tratamiento | 1    | 0.9123 <sup>N.S.</sup> | 15.7426**              |
| Interacción | 22   | 2.1008**               | 1.1875 <sup>N.S.</sup> |

\*\*  $P < 0.01$     \* $P < 0.05$     N.S. = No Significativo

Peso seco de tallo (P.S.T.), peso seco raíz (P.S.R.)

Para la variable peso seco se realizó una comparación de medias y en base a estos resultados se encontró que el genotipo C-520 fue el que mostró los valores más altos para el peso seco de tallo. El genotipo C-381 reveló el valor más bajo para dicho parámetro. En el peso seco de raíz el genotipo que mostró los valores más altos fue el C-520 y el genotipo que manifestó el valor más bajo es el C-381 para esta variable.

**Tabla 6.-** Comparaciones múltiples de los valores promedio y la desviación estandar de 23 genotipos de maíz sometidos a la condición de alta temperatura.

| Genotipo       | Peso Seco |            | Peso Seco |            |
|----------------|-----------|------------|-----------|------------|
|                | Tallo     |            | Raíz      |            |
|                | Media     | Des. Estd. | Media     | Des. Estd. |
| 1.- A-7485     | .0662bcd  | .0428      | .0166bcd  | .0120      |
| 2.- A-7419     | .0975abcd | .0206      | .0412abc  | .0174      |
| 3.- A-7545     | .1328abc  | .0213      | .0430ab   | .0113      |
| 4.- A-7573     | .1023abcd | .0394      | .0399abcd | .0196      |
| 5.- B-833      | .0780abcd | .0326      | .0192abcd | .0063      |
| 6.- B-830      | .0383d    | .0283      | .0189abcd | .0093      |
| 7.- C-891      | .0710bcd  | .0310      | .0134cd   | .0288      |
| 8.- C-343      | .0945abcd | .0114      | .0252abcd | .0129      |
| 9.- C-381      | .0354d    | .0113      | .0124d    | .0219      |
| 10.- C-520     | .1664a    | .0181      | .0470a    | .0125      |
| 11.- C-385     | .0798abcd | .0264      | .0193abcd | .0187      |
| 12.- C-220     | .0635cd   | .0347      | .0169bcd  | .0219      |
| 13.- D-856     | .1319abc  | .0510      | .0325abcd | .0066      |
| 14.- D-880     | .1024abcd | .0300      | .0382abcd | .0086      |
| 15.- D-878     | .0945abcd | .0164      | .0280abcd | .0091      |
| 16.- D-9141    | .0520cd   | .0058      | .0176bcd  | .0205      |
| 17.- D-9543    | .0834abcd | .0131      | .0309abcd | .0232      |
| 18.- D-9534    | .1204abcd | .0286      | .0314abcd | .0138      |
| 19.- 3288      | .0953abcd | .0434      | .0166bcd  | .0189      |
| 20.- 3292      | .1057abcd | .0322      | .0181bcd  | .0106      |
| 21.- 3002W     | .1088abcd | .0261      | .0328abcd | .0138      |
| 22.- 3066W     | .0559cd   | .0181      | .0181bcd  | .0209      |
| 23.- 447Aspros | .1577ab   | .0362      | .0348abcd | .0061      |

**Tabla 7.-** Índices de tolerancia en base al peso seco de tallo (g) de 23 genotipos de maíz evaluados por separado bajo condiciones de sequía, salinidad y alta temperatura.

| GENOTIPO        | SEQUIA | SALINIDAD | ALTA TEMP. |
|-----------------|--------|-----------|------------|
| 1.- A-7485      | 1.363  | 0.0332    | 0.912      |
| 2.- A-7419      | 0.932  | 0.0699    | 0.974      |
| 3.- A-7545      | 1.015  | 0.0363    | 1.049      |
| 4.- A-7573      | 1.101  | 0.3392    | 1.171      |
| 5.- B-883       | 1.317  | 0.0341    | 1.829      |
| 6.- B-830       | 1.192  | 0.0064    | 3.071      |
| 7.- C-891       | 1.033  | 0.0256    | 0.662      |
| 8.- C-343       | 0.819  | 0.0671    | 1.148      |
| 9.- C-381       | 0.870  | 0.0317    | 0.779      |
| 10.- C-520      | 1.168  | 0.0581    | 0.910      |
| 11.- C-385      | 0.719  | 0.0508    | 1.067      |
| 12.- C-220      | 0.643  | 0.0208    | 0.445      |
| 13.- D-856      | 0.876  | 0.0598    | 0.686      |
| 14.- D-880      | 0.933  | 0.0480    | 0.968      |
| 15.- D-878      | 0.838  | 0.0766    | 1.098      |
| 16.- D-9141     | 1.113  | 0.0799    | 1.036      |
| 17.- D-9543     | 1.008  | 0.0319    | 1.094      |
| 18.- D-9534     | 1.178  | 0.0566    | 1.337      |
| 19.- 3288       | 0.868  | 0.0360    | 2.228      |
| 20.- 3292       | 0.818  | 0.0574    | 1.305      |
| 21.- 3002W      | 1.270  | 0.0608    | 1.253      |
| 22.- 3066W      | 1.001  | 0.0513    | 1.300      |
| 23.- 447 Aspros | 0.988  | 0.0402    | 1.158      |

De esta manera, el genotipo A-7485 fue seleccionado como el más resistente al factor sequía mientras que el genotipo A-7573 se mostró como el menos sensible a la salinidad, y el genotipo B-830 se manifestó como el más resistente a las altas temperaturas.



**Tabla 8.-** Comparación de medias por el método Tukey de 23 genotipos de maíz evaluados bajo condiciones de salinidad.

| Genotipo        | Altura | Longitud | Altura      | Peso Seco | Peso Seco   |
|-----------------|--------|----------|-------------|-----------|-------------|
|                 | Tallo  | Raíz     | Tallo Total | Tallo     | Raíz        |
| 1.- A-7485      | 6.74ab | 7.98b    | 18.32abcd   | 0.1428a   | 0.0276abcde |
| 2.- A-7419      | 6.98ab | 8.91ab   | 19.12abc    | 0.1477a   | 0.0263abcde |
| 3.- A-7545      | 7.16ab | 9.92ab   | 17.77abcd   | 0.1894a   | 0.0291abcd  |
| 4.- A-7573      | 6.74ab | 7.98b    | 18.24abcd   | 0.1697a   | 0.0299abcd  |
| 5.- B-833       | 6.91ab | 11.05ab  | 18.86abcde  | 0.1105a   | 0.0189bcde  |
| 6.- B-830       | 5.15b  | 7.66b    | 11.08e      | 0.1863a   | 0.0120de    |
| 7.- C-891       | 7.22ab | 8.21ab   | 20.72a      | 0.1898a   | 0.0284abcd  |
| 8.- C-343       | 6.34ab | 10.06ab  | 15.82abcde  | 0.1526a   | 0.0364ab    |
| 9.- C-381       | 6.65ab | 9.77b    | 16.21abcde  | 0.1641a   | 0.0258abcde |
| 10.- C-520      | 7.81ab | 10.14ab  | 20.72a      | 0.2156a   | 0.0388a     |
| 11.- C-385      | 5.57ab | 7.58b    | 11.90de     | 0.0849a   | 0.0187bcde  |
| 12.- C-220      | 6.80ab | 6.78b    | 13.27cde    | 0.2174a   | 0.0094e     |
| 13.- C-856      | 7.15ab | 9.55ab   | 16.44abcde  | 0.1461a   | 0.0220abcde |
| 14.- D-880      | 6.54ab | 10.19ab  | 19.58abc    | 0.1779a   | 0.0312abc   |
| 15.- D-878      | 6.69ab | 10.86ab  | 15.65abcde  | 0.1690a   | 0.0282abcd  |
| 16.- D-9141     | 5.88ab | 8.41ab   | 14.75abcde  | 0.0890a   | 0.0129cde   |
| 17.- D-9543     | 5.90ab | 7.40b    | 14.18bcde   | 0.1388a   | 0.0261abcde |
| 18.- D-9534     | 7.13ab | 13.91a   | 18.02abcd   | 0.1847a   | 0.0331ab    |
| 19.- 3288       | 9.11ab | 9.24ab   | 14.36abcde  | 0.1594a   | 0.0296abcd  |
| 20.- 3292       | 6.49ab | 7.91b    | 15.34abcde  | 0.1334a   | 0.0266abcde |
| 21.- 3002W      | 7.17ab | 9.49ab   | 17.28abcde  | 0.1421a   | 0.0273abcde |
| 22.- 3066W      | 8.40ab | 12.98ab  | 16.96abcde  | 0.1157a   | 0.0270abcde |
| 23.- 447 Aspros | 11.37a | 7.30b    | 20.29ab     | 0.2469a   | 0.0370ab    |

En la tabla de comparación de medias se muestra que en la altura de tallo el genotipo 447 Aspros presentó el valor más alto mientras que el genotipo B-830 reveló el promedio más bajo. Formándose en este caso 3 grupos diferentes. Para la variable longitud de raíz el genotipo que obtuvo el valor más alto fue el genotipo D-9534 mostrando el genotipo C-220 la media más baja.

En este parámetro se formaron 3 grupos distintos. En la magnitud altura tallo total el genotipo que reveló mayor valor fue C-891 y el C-520 mientras que el genotipo B-830 determinó el índice más bajo. Formándose 9 grupos diferentes. En la variable peso seco tallo el genotipo que denotó el mayor valor fue el 447 Aspros, mostrando el valor más bajo el genotipo C-385. En esta variable se formó solamente un grupo. En el peso seco de la raíz el genotipo C-520 obtuvo el valor más alto, y el genotipo C-220 mostró el porcentaje más bajo, se formaron para tal variable 9 grupos distintos.

**Tabla 9.-** Índice de tolerancia en base al peso seco total (g) evaluados por separado bajo condiciones de sequía, salinidad y alta temperatura.

| Genotipo        | Sequía | Salinidad | Alta Temperatura |
|-----------------|--------|-----------|------------------|
| 1.- A-7485      | 1.3647 | 0.0362    | 1.8259           |
| 2.- A-7419      | 1.0908 | 0.0665    | 0.9765           |
| 3.- A-7545      | 1.0991 | 0.0455    | 1.1545           |
| 4.- A7573       | 1.2392 | 0.0318    | 1.3438           |
| 5.- B-833       | 1.2179 | 0.0478    | 1.8554           |
| 6.- B-830       | 1.4221 | 0.0112    | 2.8496           |
| 7.- C-891       | 1.0738 | 0.0336    | 0.7295           |
| 8.- C-343       | 0.8422 | 0.0896    | 1.1823           |
| 9.- C-381       | 0.8960 | 0.0495    | 0.8347           |
| 10.- C-520      | 1.3175 | 0.0559    | 1.0514           |
| 11.- C-8385     | 0.7278 | 0.1102    | 1.1497           |
| 12.- C-220      | 0.6558 | 0.0214    | 0.5083           |
| 13.- D-856      | 0.9042 | 0.0683    | 0.8286           |
| 14.- D-880      | 1.0754 | 0.0821    | 1.0260           |
| 15.- D-878      | 0.8646 | 0.4392    | 1.1260           |
| 16.- D-9141     | 1.1920 | 0.1286    | 1.3855           |
| 17.- D-9543     | 1.3768 | 0.0480    | 1.2458           |
| 18.- D-9534     | 1.1224 | 0.0950    | 1.4241           |
| 19.- 3288       | 0.9241 | 0.0463    | 2.0813           |
| 20.- 3292       | 0.8544 | 0.0955    | 1.2275           |
| 21.- 3002W      | 1.2031 | 0.1086    | 1.3552           |
| 22.- 3066W      | 0.9737 | 0.0582    | 1.0876           |
| 23.- 447 Aspros | 1.0540 | 0.0611    | 1.1821           |

De esta manera, el genotipo B-830 fue seleccionado como resistente y el genotipo C-220 como susceptible para el factor sequía en el experimento 1 (fig.2). El genotipo D-878 fue seleccionado como resistente y el genotipo B-830 como susceptible al factor salinidad en el experimento 2 (fig.3), mostrando que todos los genotipo en salinidad son susceptibles. El genotipo B-830 se seleccionó como el más resistente a las altas temperaturas pero los genotipos 3288, B-833 y el A-7485 mostraron también una tolerancia alta para esta variable, el genotipo C-220 fue seleccionado como el más susceptible en el experimento 3 de alta temperatura.

1



a

b

2



a

b

Fig.2 1) Muestra el genotipo B-830 resistente a sequía a) Control b) Tratamiento.  
2) Muestra el genotipo C-220 sensible a sequía a) Control b) Tratamiento

| Genotipo    |
|-------------|
| 1.- A-7485  |
| 2.- A-7419  |
| 3.- A-7345  |
| 4.- A-757   |
| 5.- B-833   |
| 6.- B-830   |
| 7.- C-391   |
| 8.- C-343   |
| 9.- C-381   |
| 10.- C-520  |
| 11.- C-395  |
| 12.- C-328  |
| 13.- D-56   |
| 14.- D-883  |
| 15.- D-878  |
| 16.- D-9141 |
| 17.- D-9542 |
| 18.- D-9334 |
| 19.- 328R   |
| 20.- 3292   |
| 21.- 3002W  |
| 22.- 3066W  |
| 23.- 447Aa  |



1

a

b



2

a

b

Fig.3 1) Muestra los genotipos sometidos al factor de salinidad.  
 a) D-878 resistente b) B-830 sensible.  
 2) Muestra el genotipo B-830 a) Control b) Tratamiento.

**Tabla 10.-** Comparaciones múltiples entre las medias de diferentes atributos mediante la prueba Tukey bajo condiciones de Sequía.

| Genotipo       | Altura  | Lonitud  | Altura      | Peso Seco |         |
|----------------|---------|----------|-------------|-----------|---------|
|                | Tallo   | Raíz     | Tallo Total | Tallo     | Raíz    |
| 1.- A7485      | 9.88ab* | 24.57abc | 35.72a      | .2465bc   | .0528ab |
| 2.- A7419      | 11.00ab | 25.92ab  | 38.42a      | .2796ab   | .0677a  |
| 3.- A-7545     | 12.00ab | 23.42abc | 39.67a      | .2851ab   | .0519ab |
| 4.- A-7573     | 11.30ab | 15.87bc  | 37.62a      | .2792ab   | .0579ab |
| 5.- B-833      | 9.87ab  | 23.32abc | 39.45a      | .2290bc   | .0368ab |
| 6.- B-830      | 9.63ab  | 15.85bc  | 30.68a      | .1307c    | .0317ab |
| 7.- C-891      | 10.98ab | 16.07bc  | 40.70a      | .2503bc   | .0223b  |
| 8.- C-343      | 10.87ab | 16.63bc  | 36.52a      | .2261bc   | .0380ab |
| 9.- C-381      | 11.07ab | 22.33abc | 42.93a      | .2538abc  | .0415ab |
| 10.- C-520     | 12.00ab | 18.67abc | 45.42a      | .3046ab   | .0475ab |
| 11.- C-385     | 9.08b   | 18.58abc | 35.25a      | .2278bc   | .0295ab |
| 12.- C-220     | 11.12ab | 14.73c   | 38.08a      | .2203bc   | .0305ab |
| 13.- D-856     | 11.87ab | 22.33abc | 43.58a      | .2762ab   | .0453ab |
| 14.- D-880     | 12.17ab | 18.89abc | 42.82a      | .2501bc   | .0452ab |
| 15.- D-878     | 10.58ab | 23.67abc | 44.50a      | .2401bc   | .0403ab |
| 16.- D-9141    | 8.92b   | 17.13bc  | 32.48a      | .1837bc   | .0282ab |
| 17.- D-9543    | 11.33ab | 27.77a   | 36.80a      | .2156bc   | .0598ab |
| 18.- D-9534    | 11.73ab | 23.52abc | 38.60a      | .2523abc  | .0598ab |
| 19.- 3288      | 11.42ab | 20.58abc | 39.63a      | .1862bc   | .0406ab |
| 20.- 3292      | 11.50ab | 22.49abc | 39.75a      | .2239bc   | .0405ab |
| 21.- 3002W     | 11.80ab | 23.55abc | 39.72a      | .2246bc   | .0293ab |
| 22.- 3066W     | 12.92a  | 22.25abc | 40.58a      | .1995bc   | .0480ab |
| 23.- 447Aspros | 12.77a  | 21.67abc | 45.28a      | .3844a    | .0669a  |

**\* Letras diferentes indican diferencia significativas (P<0.05)**

En esta tabla de comparación de medias se presenta que en la altura de tallo el genotipo 3066W mostró el valor más alto mientras que el genotipo D-9141 fue el promedio más bajo. Formándose tres grupos en esta variable. Para el parámetro longitud de raíz el genotipo que expresó el más alto fue el D-9543, revelando el genotipo C-220 el promedio más bajo. En este caso se formaron cinco grupos distintos. Para la variable altura de tallo total el genotipo que presentó el mayor valor

fue C-520 y el B-830 denotó el valor más bajo, formándose solamente un grupo. En peso seco de tallo el genotipo que mostró el mayor valor fue el 447 Aspros, mostrando el valor más bajo el genotipo B-830 se formaron cinco grupos distintos en esta variable. En peso seco de raíz el genotipo A-7419 reveló el valor más alto, mientras que el genotipo C-891 demostró el promedio más bajo formándose tres grupos distintos para este parámetro.

**Tabla 11.-** Comparaciones múltiples de las medias de peso seco de tallo y de raíz de 23 genotipos de maíz mediante la prueba Tukey evaluados bajo condiciones de alta temperatura.

| Genotipo       | Peso Seco  | Peso Seco  |
|----------------|------------|------------|
|                | Tallo      | Raíz       |
| 1.- A-7485     | 0.0662bcd* | 0.0166bcd  |
| 2.- A-7419     | 0.0975abcd | 0.0412abc  |
| 3.- A7545      | 0.1328abc  | 0.0430ab   |
| 4.- A-7573     | 0.1023abcd | 0.0399abcd |
| 5.- B-833      | 0.0780abcd | 0.0192abcd |
| 6.- B-830      | 0.0383d    | 0.0189abcd |
| 7.- C-891      | 0.0710bcd  | 0.0134cd   |
| 8.- C-343      | 0.0945abcd | 0.0252abcd |
| 9.- C-381      | 0.0354d    | 0.0124d    |
| 10.- C-520     | 0.1664a    | 0.0470a    |
| 11.- C-385     | 0.0798abcd | 0.0193abcd |
| 12.- C-220     | 0.0635cd   | 0.0169bcd  |
| 13.- D-856     | 0.1319abc  | 0.0325abcd |
| 14.- D-880     | 0.1024abcd | 0.0382abcd |
| 15.- D-878     | 0.0945abcd | 0.0280abcd |
| 16.- D-9141    | 0.0520cd   | 0.0176bcd  |
| 17.- D-9543    | 0.0834abcd | 0.0309abcd |
| 18.- D-9534    | 0.1204abcd | 0.0314abcd |
| 19.- 3288      | 0.0953abcd | 0.0166bcd  |
| 20.- 3292      | 0.1057abcd | 0.0181bcd  |
| 21.- 3002W     | 0.1088abcd | 0.0328abcd |
| 22.- 3066W     | 0.0559cd   | 0.0181bcd  |
| 23.- 447Aspros | 0.1577ab   | 0.0348abcd |

**\*Letras diferentes indican diferencias significativas (P<0.05)**

En esta tabla se muestran que en el peso seco de tallo el genotipo C-520 denotó el valor más alto y al genotipo C-381 expresó el promedio más bajo. Formándose siete grupos en ésta variable. Para el peso de raíz el genotipo que mostró el porcentaje más alto fue el genotipo C-520 mientras que el genotipo C-381 reveló el valor más bajo. Siendo siete grupos diferentes los que se formaron para éste parámetro.



## DISCUSIÓN

El presente trabajo se planteó para evaluar y seleccionar genotipos de maíz; así como contribuir al conocimiento de los mecanismos que desarrolla este cultivo a las diferentes condiciones de estrés. Se ha reportado que el maíz tiene resistencia a los factores de estrés de sequía, salinidad y alta temperatura, así también se ha demostrado que existe diferencia en los requerimientos de humedad del suelo para la germinación de semillas de distintas especies, el peso seco de tallo, raíz y el desarrollo de maíz se reducen en condiciones de sequía, siendo las temperaturas óptimas para el maíz de 23°C-32°C y las temperaturas subletales y letales van de 40°C-45°C. (Saks, 1941; Mayaki *et al.*, 1976; Adebona y Ayisire, 1979; Thakur y Rai, 1984; Castro, 1987; Zhang *et al.*, 1994; Maití *et al.*, 1996).

En el presente trabajo se efectuaron tres experimentos independientes para comprobar la hipótesis planteada, si existe variabilidad entre los genotipos de maíz para su resistencia a los factores de sequía, salinidad, y alta temperatura y comprobar las características estructurales desarrolladas por la plántula que tenga relación con los diversos mecanismos de estrés.

Los resultados de los tres experimentos indicaron que los diversos genotipos de maíz evaluados en este trabajo, indicaron una amplia variabilidad genética con respecto a la tolerancia y susceptibilidad a cada uno de los tres factores de estrés de sequía utilizados. (Withman y Wilson, 1945; Thakur y Rai, 1984; Hetrick *et al.*, 1987; Hall, 1988; Sinclair *et al.*, 1990), así mismo

para la salinidad (Zidan *et al.*, 1990; Izzo *et al.*, 1991; Cramer, 1992; Evlagon 1992), alta temperatura (Bourdu, 1984; Yang, 1984; Martiniello y Lorenzoni, 1985; Stamp, 1986; Zhang *et al.*, 1994; Maití *et al.*, 1996). Estos resultados concuerdan con otros trabajos realizados con maíz y reportados por distintos autores, quienes demostraron una amplia gama en la variabilidad genética en la respuesta de maíz a los diferentes factores de estrés.

La evaluación de 23 genotipos de maíz para resistencia a la sequía mostraron una variabilidad altamente significativa entre ellos para diferentes variables morfológicas de altura de tallo, longitud de raíz y peso seco de tallo y raíz. Los resultados de sequía del primer experimento indican que los genotipos B-830, D-9543, A-7485, C-520, que fueron evaluados en el tratamiento de sequía mostraron un mayor índice de tolerancia y son considerados como resistentes, cuyo significado bajo condición de tratamiento produce mayor peso seco de tallo y raíz para su adaptación en condición de sequía. La línea resistente muestra más crecimiento de raíz bajo condición de estrés hídrico comparado con el testigo. Los genotipos C-385 y C-220 revelaron su sensibilidad a la sequía, indicando más crecimiento en la raíz bajo condición de buena humedad la que se reduce drásticamente en situación de sequía. El tallo en la línea resistente manifiesta un buen crecimiento bajo condición de sequía, la línea susceptible tiene un desarrollo equitativo aunque su raíz se reduce enormemente los genotipos C-385 y C-220 revelaron su sensibilidad a la sequía debido a que la raíz y tallo tuvieron un desarrollo endeble.

Con respecto a esto, varios autores mencionan el efecto de sequía sobre el crecimiento de maíz ya que el impacto de estrés

por sequía varía en las diversas etapas de crecimiento y la acumulación de biomasa disminuye cuando hay escasez de agua, así el déficit hídrico modifica en mayor o menor grado todos los procesos fisiológicos, este efecto depende de la intensidad, frecuencia y duración del equilibrio, así como el estado de crecimiento y desarrollo de la planta, el área foliar disminuye bajo esta condición, la longitud y profundidad de la raíz es mayor en esta situación, mientras que la altura de tallo es menor, los vegetales que se consideran resistentes debieron de desarrollar en sus tejidos sustancias hidrofílicas en sus células como proteínas y carbohidratos de alto peso molecular. (Bidwell, 1976; Mayaki *et al.*, 1976; Sivori *et al.*, 1980; Thakur y Rai, 1984; Castro, 1987)

En el segundo experimento de salinidad se señalan que tuvieron una gran variabilidad genética con respecto a diferentes características morfológicas de altura de tallo, longitud de raíz, peso seco de tallo y raíz los genotipos en su totalidad son susceptibles a ella, mostrándose el genotipo D-878 como el más resistente ya que bajo condiciones de humedad el crecimiento de la raíz en esta línea es cuatro veces más elevada comparada con el efecto producido por el estrés de salinidad, indicando que la raíz es más susceptible en el caso de la línea resistente, aunque su reducción es muy drástica. Los genotipos C-220 y B-830 demostraron ser los más sensibles a esta variable, la raíz se reduce bruscamente al no ajustar internamente su potencial osmótico. Tanto la línea resistente como la susceptible comparada con el sorgo no pueden adaptar su fisiología osmótica interna para soportar los cambios provocados por el potencial acrecentado por el estrés salino. El tallo presenta una reducción en su

crecimiento de más de 14 veces, mientras que la línea susceptible disminuye en forma desmesurada el tamaño del tallo. Las plántulas presentan una reducción en su desarrollo limitando el crecimiento pero no la germinación, disminuyendo también la producción de la materia seca de tallo y raíz, reduciendo el crecimiento de altura del tallo y de la longitud de raíz así como el peso específico de la hoja y área foliar.

Plántulas de maíz de 4 días expuestas al NaCl inhiben el crecimiento y reducen ligeramente el total de la actividad del ácido fosfatasa (Pan y Chen, 1988). La Salinidad causa cambios fisiológicos y morfológicos en las plantas, éstas pueden ser mitigadas por calcio, también aumenta la extensión foliar de plantas estresadas con sal por aumento en la conducción hidráulica. La salinidad reduce el potencial hídrico en las hojas de maíz, reduciendo la altura y masa seca de el tallo y afecta la elongación de la hoja y el transporte hídrico en los vasos de xilema en maíz, como su longitud y conductividad de la raíz en maíz (Zidan *et al.*, 1990; Azaizeth and Steudle, 1991; Evlagon *et al.*, 1992). Una gran especificidad de las diferencias genéticas entre híbridos isogénicos de maíz fue encontrado con respecto a la acumulación de betaína (Rhodes *et al.*, 1989). Durante el crecimiento de la plántula, el potencial hídrico de la hoja, conductancia estomática, evapotranspiración, área foliar, crecimiento de raíz y tallo baja al aumentar la salinidad (Katerji *et al.*, 1994).

En el tercer experimento que consistió en alta temperatura los genotipos mostraron una variabilidad moderada, ya que las plántulas se comportaron de manera adecuada. Los genotipos B-830, 3288 bajo condiciones de alta temperatura (38°C) utilizada

en este tratamiento, mostraron un crecimiento muy alto 2-3 veces mayor comparado con su testigo, manifestaron una respuesta muy positiva a este factor de estrés, considerándose por sus valores como las más resistentes, el comportamiento de la raíz y tallo así lo demuestran, el peso seco de la raíz del genotipo resistente duplicó el peso seco del testigo en el caso de tallo el peso seco del resistente triplicó en algunos casos el valor del peso seco del tallo del testigo, el genotipo que mostró más susceptibilidad fue el C-220, los valores del peso seco de la raíz del testigo duplica al peso seco de la raíz del tratamiento, con respecto al tallo, este se comportó de igual manera que la raíz, su peso seco en el testigo duplicó el peso seco del tallo en el tratamiento, mostrando en la línea resistente un mayor crecimiento de raíz siendo un mecanismo de adaptación a las condiciones de alta temperatura. De acuerdo a los autores la temperatura óptima del maíz es entre 23°C-32°C para su mayor crecimiento, por lo cual este experimento se sometió a una temperatura de 38°C que está por debajo de la subletal 40°C y letal 45°C. Todos estos resultados son apoyados por los estudios realizados por Bonham-Smith *et al.*, (1988); Zhang *et al.*, (1994); Maití *et al.*, (1996).

La acción fundamental de la temperatura a nivel celular y molecular afecta dos funciones básicas del metabolismo; la migración de solutos a través de la membrana, las cuales son reacciones intermoleculares, y un inadecuado suministro de agua (Bourdu, 1984). Martiniello Y Lorenzoni, (1985); Stamp (1986); han demostrado que el vigor de la altura, crecimiento y la acumulación de materia seca es debido a la actividad del NADP malato de hidrogenasa y fosfo fruiictokinasa y cuando la temperatura fluctúa de 25°C-18°C se aprecia un decaimiento en la respiración

mitocondrial, marcándose más a una temperatura de 7°C (Yang, 1984) en temperaturas abajo de 8°C la emergencia de la plántula de maíz se ve afectada (Orsini y Ariaga, 1984), a 4°C las plántulas que no se aclimatan a la temperatura y acumulan en sus tejidos peróxido que los daña (Prasad *et al.*, 1994).

El genotipo B-830 de acuerdo al índice de tolerancia de peso seco de raíz y tallo mostró más desarrollo y vigor para los factores de estrés de sequía y alta temperatura, lo cual indica que en estas pruebas preliminares soportan una sequía de 15% y 10% y una temperatura de 38°C nos hacen pensar de su utilidad en lugares donde los estrés de sequía y alta temperatura estén presentes. El genotipo D-878, resultó ser el más resistente a la salinidad, cabe aclarar que los 23 genotipos probados fueron sensibles, ya que el índice de tolerancia peso seco de tallo y raíz así lo demuestran, haciéndolo recomendable por su comportamiento como un genotipo que puede soportar concentraciones salinas de 0.2 M.

El genotipo C-220 resultó ser por su tolerancia en el peso seco de tallo y raíz el más sensible a la sequía y alta temperatura, quedando como el menos recomendable para su siembra en estos factores de estrés. El genotipo B-830 fue el que tuvo un comportamiento más delicado en el factor de salinidad, su peso seco así lo demuestra, no recomendándose para siembra bajo este factor de estrés.

En el presente trabajo se buscó la variabilidad genética mostrada por los 23 genotipos a los factores de estrés de sequía, salinidad y alta temperatura, para seleccionar los genotipos

resistentes y sensibles a dichos factores y poder recomendarlos para su siembra y tratar de incrementar la producción de maíz en estas condiciones adversas, así como la recomendación a los fitomejoradores y productores para que en sus estudios las líneas de cruce sean orientadas en el sentido en lograr la producción de híbridos resistentes a los factores de estrés aquí estudiados.

## CONCLUSIONES

Se evaluaron 23 genotipos de maíz para determinar la variabilidad genética entre ellas con respecto a las variables de altura de tallo, longitud de raíz, peso seco de raíz y tallo. De los resultados se puede concluir lo siguiente:

- 1.- Los genotipos B-830, D-9543, A-7485, C-520 se consideran como resistentes a la sequía produciendo mayor peso seco de tallo y raíz, mostrando también más crecimiento de raíz que el testigo. Los genotipos C-8385 y C-220 revelaron su sensibilidad a la sequía, indicando más crecimiento en la raíz bajo condiciones de humedad la que se reduce drásticamente en condición de sequía. El tallo en la línea resistente manifiesta un buen crecimiento bajo condiciones de sequía, en los genotipos susceptibles tiene el tallo un desarrollo endeble.
- 2.- En su totalidad los 23 genotipos mostraron una susceptibilidad a la salinidad, siendo el genotipo D-878 el más resistente ya que bajo condiciones de humedad el crecimiento de la raíz es cuatro veces más elevada con respecto al producido por el estrés de salinidad, mostrando que la raíz es más susceptible en el caso de la línea resistente. Los genotipos B-830 y C-220 revelaron más sensibilidad a este parámetro, la raíz es reducida enérgicamente.
- 3.- Los genotipos B-830, 3288 en condiciones de altas temperaturas (38°C) mostraron un crecimiento de 3-4 veces



más que el testigo, siendo considerados como los más resistentes. El peso seco de la raíz del genotipo resistente duplicó el peso seco del testigo, con respecto al tallo el peso seco triplicó el valor del resistente con respecto al testigo. El genotipo más sensible fue el C-220. El peso seco del tallo en el testigo duplicó el peso seco del tratamiento, mostrando la línea resistente un mayor crecimiento de raíz.

## Literatura Citada

- Adebona, A.C.; y B.E. Ayisire, 1979. Effect of polyethylene glycol induced moisture stress on the germination of some tropical seed. *turrialba*, 29 (4): 318-320.
- Anónimo., 1977, Maíz de alta calidad proteínica: Ed. Limusa, México.
- Azaizeth, H.; y E. Steudle, 1991. Effects of salinity on water transport of excised maize roots. *Plant Physiol.* 97(3):1136-1145.
- Bewley, J.D.; y K.M. Larsen, 1982. Difference in the responses to water stress of growing and non-growing regions of maize mesocotyls: Protein synthesis on total, free and membrane bound polyribosome fractions. *J. Exp. Bot.* 33:406
- Bidwell, R.G.S., 1976. Fisiología vegetal. AGT Editor, S.A. México, D.F. pp. 690-692.
- Bourdu, R., 1984. The physiological basis of the effects of temperature. *Physiologia de mais* (coordinated by A. Gallas. 389-424. Paris, France, INRA.
- Bonham-Smith, P.C., M. Kapoor y J.D. Bewely, 1988. Acomparision of the stress responses of *Zea mays* seedlings as shown by qualitative changes in protein synthesis. *Canad. J. Bot.* 66(9):1983-1890.

Castro, B.F., 1987. Respuestas morfofisiológicas de dos especies de frijol (Phaseolus vulgaris L.P. acutifolius A. Gray) a sequía simulada con polietilén glicol bajo condiciones de invernadero. Tesis Profesional. Escuela Superior de Biología, U.N.A.M. México, D.F.

Cooper, P.S., 1986. The heat shock proteins of maize: their induction, cellular location and potential function. Dissertation Abstract International B. Sci. and Eng. 46(11):3666 B-3667B.

Cramer, G.R., 1992. Kinetics of maize leaf elongations. II. Responses of a Na-excluding cultivar and Na-including cultivar to varying Na//Ca salinities. J. Exp. Bot 43(251):857-864.

Evlagon. D. I. Ravina y P.M. Neumann, 1992. Effects of salinity stress and calcium on hydraulic conductivity and growth in maize seedling roots. J. Plant. Nutr. 15(6/7):795-803.

Flower, T.J. P.F. Troke y A.R. Yeo, 1977 The mechanism of salt tolerance in halophytes. Ann. Rev. Plant Physiol. 28:89-121.

- Foster, S., 1993. Maize production, drought and AIDS in Monze District, Zambia. *Health policy and planning*. 8(3):247-254.
- Galinant, W.C., 1992a. A pristine background as a new direction for maize improvement. *Maize Genetics Cooperation Newsletter*. 66:115.
- Galinant, W.C., 1992b. Sexual transmutación consistent with the cupule reduction mode of maize's origin. *Maize Genetics Cooperation, Newsletter*. 66:116.
- Gallagher, J.P., 1989. Agricultural intensification and ridged-field cultivation in the prehistoric Upper Midwest of North America. *Foreign and farming, the evolution of plant exploitation*. [Ed. by Harris, D.R. Hillman, G.C. 1989], 572-584.
- García, A.L., L. Galindo y G.F. Soldatini, 1992. Biochemical effects of water and salt stress induced by sodium chloride and polyethylene glycol in maize seedlings. *Departamento Química Agrícola, Universidad de Murcia, Murcia, Spain*. 122(4):316-321.
- Grzesiak, S., 1991. Ecological and physiological factors of drought resistance in different genotypes of maize (Zea mays L.). *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczejim. H. Kollatajaw Krakowie, Rozprawa Habilitacyjna*. 158:119 pp.

- Hall, R., 1988. Effects of drought stress on corn production  
Agron J.3(20):1-4.
- Hetrick, B.A.D., D.G. Kitt y G.T. Wilson, 1987. Effects of  
drought stress on response in corn, sudan and big bluestem  
to Glomus estunicatum. New Phytol. 105(3):403-410.
- Izzo, R.F. A. Navari-Izzo y Quatecc, 1991. Growth and mineral  
absorption in maize seedlings as affected by increasing  
NaCl concentrations. J. Plant Nutr. 14(2):687-699.
- Jugenheimer Robert W., 1981, Maíz variedades mejoradas, métodos  
de cultivo y producción de semilla. Ed. LIMUSA México.
- Kapoya, J.A.; G.W.M. Borendse y H.F. Linskens, 1985. Water  
stress tolerance and proline accumulation in Phaseolus  
vulgaris L. Acta Bot. Neerl 34(3): 293-300.
- Kilen, T. C.; y R.H. Andrew, 1969. Measurement of drought  
resistance in corn. Agron. Jour. 61: 699-677.
- Katerji, M., F. Tardieu, O. Bethenod y Quetin, 1994. Behaviour  
of maize stem diameter during drying cycles: comparison  
of two methods for detecting water stress. Crop Sci.  
34(1):165-169.
- Kham, A. H.; y A. Singh, 1983. Amino acid indicators of water  
stress conditions in maize cultivar. National Academy of  
Science letters. 6(4):117-119.

Lal, P. Alrawi, A.A.Bassyouni, A.T. Mirwali, S.F. y K.M. Allsaadi, 1986. Effect of salinity and fertility levels of the soil on the performance of two varieties of maize. Transactions of Indian Society of Desert Technology and University Center of Desert Studies. 11(1):61-66

Maiti, R.K., 1990. Evaluación y selección de líneas de sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) para su tolerancia a las condiciones en las regiones áridas y semiáridas del Noreste de México. Reporte de proyectos financieros por la Secretaría de Educación Pública. Inédita. Fac. de Ciencias Biológicas. U.A.N.L., Monterrey, N.L. México.

Maiti, R.K., 1996, Sorghum Science. Science publishers, Inc. U.S.A. pp.352

Maiti, R.K.; y Pedro Wesche E., 1997, Maize Science. Science Publishers Inc. U.S.A. (En prensa).

Martiniello, P.; y C. Lorenzoni, 1985. Physiological test for water and heat stress on maize populations (Zea mays L.). Genetica Agraria 39(3):331-332.

Mayaki, N.C., L.R. Stone y I.D. Teare, 1976. Irrigated and nonirrigated soybean, corn and grain sorghum root systems. Argon Jour. 68: 532.534.

Mishra, P.K., A.S. Mehta y A.K. Srivastava, 1994. Effect of salt stress on the physiology of 15 day old seedling of maize. Neo-Botância. 2(1):49-51.

- Navari-Izzo F.; M.F. Quartacci y R. Izzo, 1989. Lipid changes in maize seedlings in response to field water deficits J. Exp. Bot. 40(215):675-688.
- Nir, I.A.; Mayber-Poljakoff y S. Klein, 1970. The effect of the water stress on the polysome population and the ability to incorporate aminoacid in maize root tips. Israel. J. Bot 19:451-462.
- Orsini, N.N.; y H.O. Arriaga, 1984. Maize: the influence of low temperatures at the primary stage of development. Revista Facultad de Agronomia, Universidad Nacional de la Plata 60(1/2):69-77.
- Pan, S.M.; y Y. R. Chen, 1988. The effects of salt-stress on acid phosphatase activity of Zea mays seedlings. Bot. Bul. Academic Sinica, Taiwan 29(1):33-35.
- Patil, S.J., Y.C. Panchal y K.V. Janardkan, 1984. Effect of short term moisture stress on free proline and relative water content in different plant parts of maize genotypes. Indian Plant Physiol. 27(4):322-327.
- Prasad, T.K., M.D. Anderson, B.A. Martin y C.R. Stewart, 1994a. Evidence for chilling-induced oxidative stress in maize seedlings and a regulatory role for hydrogen peroxide. Plant Cell 6(1):65-74.
- Prasad, T.K., M.D. Anderson, B.A. Martin y C.R. Stewart, 1994b. Acclimation, hydrogen peroxide and abscisic acid

- protect mitochondria against irreversible chilling injury in maize seedlings. *Plant Physiol.* 105(2):619-627.
- Rhodes, D., D.G. Rich, Brunk, G.C. Rhodes, C.M.H. Pauly y L.A. Hansen, 1989. Development of two isogenic sweet corn hybrids differing for glycinebetaine content. *Plant Physiol.* 91(13):112-121.
- Rojas, G.M., 1959. *Principios de Fisiología Vegetal*. UNAM. Imprenta Universitaria, México, D.F.
- Saks, A.I., 1941. On Several direct methods of evaluation of wheat varieties as regards their drought resistance. *Bull. Acad. Sci. URSS, Cl. Sci. Et. Nat. Ser. Biol.*
- Sandoval G.N.D., 1991. Evaluación y selección de líneas de sorgo "glossy" [*Sorghum bicolor* (L) Moench], para su tolerancia a diferentes factores de estrés en etapa de plántula. Tesis de Licenciatura F.C.B. U.A.N.L., México.
- Schleiff, U., 1983. Salt tolerance of maize irrigated at different frequencies with saline water: salztoleranz von Mais bei Applikation salz reichem Giesswassers in unterschiedlichen Intervallen. *Zeitschrift für Acker und Pflanzenbau* 152(1):9-18.
- Schulze, E.D., 1986. Carbon dioxide and water vapor exchange in response to drought in the atmosphere and in the soil. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 37:247-274.



Sivori, M.F., E.R. Montaldí y O.H. Caso, 1980 Fisiología Vegetal, Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires. Rep. de Argentina.

Soliman, M.F., 1988. Effect of salinity on growth and micronutrient composition of corn plant. *Agrochimica*. 32(4):337-348.

Sinclair, T.R., J.M. Bennet y R.C. Muchow, 1990. Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field grown maize. *Crop Science* 30(3):690-693.

Sullivan, Y. Ch. 1983. Genetic variability in physiological mechanism of drought resistance. *Iowa State. J. Res.* 57(4):423-439.

Stamp, P., R. Thiraporn y G. Geisler, 1986. Relationship between early field growth of maize genotypes and seedling traits under controlled conditions. *J. Agron. and Crop Sci.* 156(3):188-192.

Thakur, P.S.; y Rai, V.K., 1984. Water stress effects on maize: growth responses of two differentially drought sensitive maize cultivars during early stage of growth. *Indian J. Ecol.* 11(1): 92-98.

Turner, N.C.; y J.E. Begg, 1981. Plant water relations and adaptations to stress. *Plant and Soil* 58:57-131.

- Voetberg, G.S.; y R.E. Sharp, 1991. Growth of the maize primary root at low water potentials III. Role of increase proline deposition in osmotic adjustment. *Plant Physiol.* 96(4):1125-1130.
- Voinikov, V.K.; y A.V. Rudikouskii, 1988. Association of heat shock protein of maize with mitochondria in vivo and in vitro. *Fiziologiya Rastenii* 35(3):542-547.
- Withman, P.C.; y G.L. Wilson, 1965. The effects of water stress on the reproductive development of Sorghum vulgare. University of Queensland Bot Pap. 4:233-239.
- Yang, J.S., 1984. Effect of temperature on oxidative activity of corn mitochondria. *J. College of Sci. Univ.* 21:11-16.
- Yeo, A.R.; y T.J. Flower, 1980. Salt tolerance in the halophyte Suaeda maritima L. Dum: Evaluation of the effect of salinity on growth. *J. Bot.* 31(123):1171-1183.
- Zar, J.H., 1996. *Biostatistical Análisis*. Tercera Edición Prentice Hall Inc. N.Y.718p.
- Zhang, J.H. He, Y. H. y H. Y. Chen., 1994. Effect of temperature on seed germination and seedling emergence in pop corn. *J. Shanghai. Agricultura Collage*, 12(4):257-259.

Zidan, I., Jacoby, B., I. Ravina y Neumann 1990, Sodium does not compete with calcium in saturating plasma membrane sites regulating  $\text{Na}^{22}$  influx in saliniting maize roots. Plant Physiol. 96(1):7-11.

Zúñiga, G.E., V.H. Argandona, y L.J. Corcuera, 1989. Distribution of glycine, betaine and proline in water stress and un stressed barley leaves. Phytochemistry. 28(2):419-420.

