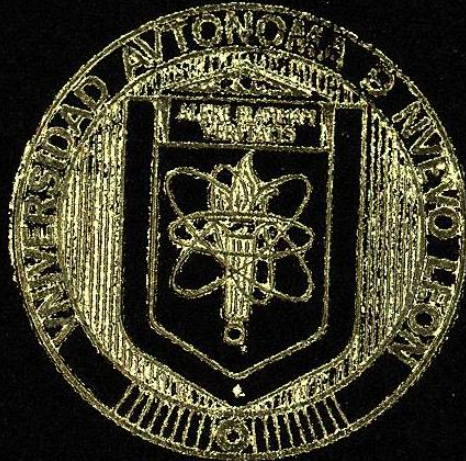


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
División de Estudios de Postgrado



*Contribución a la Determinación del  
Mecanismo Morfofisiológico y Bioquímico de  
Resistencia a la Salinidad de Sorgo "glossy"*

TESIS

*Que para Optar al Grado de*

MAESTRO EN CIENCIAS

CON ESPECIALIDAD EN BOTANICA

*Presenta:*

MANUEL DE LA ROSA IBARRA

Monterrey, N. L.,

Noviembre de 1993

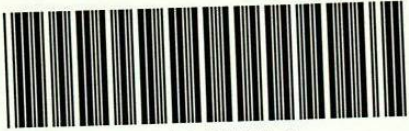
TM

Z532

FCB

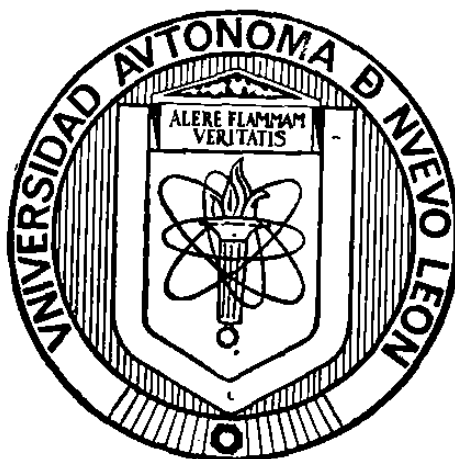
1993

R6



1020066516

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
*División de Estudios de Postgrado*



*Contribución a la Determinación del  
Mecanismo Morfofisiológico y Bioquímico de  
Resistencia a la Salinidad de Sorgo "glossy"*

**TESIS**

*Que para Optar al Grado de*

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**CON ESPECIALIDAD EN BOTÁNICA**

*Presenta:*

**MANUEL DE LA ROSA IBARRA**



**Monterrey, N. L.**

**Noviembre de 1993**

TM  
Z532D  
FCB  
1993  
R6



**FONDO TESIS**

**25970**

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

CONTRIBUCION A LA DETERMINACION DEL MECANISMO  
MORFOFISIOLOGICO Y BIOQUIMICO DE RESISTENCIA  
A LA SALINIDAD DE SORGO "glossy"

T E S I S

QUE PARA OPTAR AL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS  
CON  
ESPECIALIDAD EN BOTANICA  
PRESENTA

*MANUEL DE LA ROSA IBARRA*

COMISION DE TESIS  
PRESIDENTE

DR. RATIKANTA MAITI

SECRETARIO

VOCAL

DRA. JULIA VERDE STAR

M.C. ROBERTO MERCADO HDZ.

MONTERREY, N.L.

NOVIEMBRE DE 1993

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Ratikanta Maiti por el estímulo constante que supo inducir en mí y por sus precisas indicaciones gracias a las cuales este trabajo pudo llevarse a cabo.

A la Dra. Julia Verde Star por aceptar formar parte de la Comisión de Tesis y por sus indicaciones en la revisión del manuscrito.

Al M.C. Roberto Mercado Hernandez por su colaboración en la asesoría del diseño estadístico y en la revisión de este trabajo.

Al Biól. Roberto Tovar Peña por su valiosa colaboración en el diseño gráfico y formato final del escrito.

## CONTENIDO

	Página
RESUMEN	
INTRODUCCION .....	1
OBJETIVOS .....	3
HIPOTESIS .....	3
REVISION DE LITERATURA .....	4
MATERIALES Y METODOS .....	14
RESULTADOS .....	21
DISCUSION .....	30
CONCLUSIONES .....	35
BIBLIOGRAFIA .....	37



## RESUMEN

En una primera fase de este trabajo, se evaluaron 17 genotipos de sorgo "glossy" y "no-glossy" para determinar su resistencia al factor salinidad. Se utilizó una concentración de Cloruro de Sodio a .25 M como riego para el tratamiento de salinidad y para el testigo se utilizó agua destilada. Se evaluaron algunas variables como: peso seco de raíz, altura, peso seco de tallo y peso seco total. Como resultado de esta evaluación, los genotipos IS-22201 y IS-4473 fueron seleccionados como resistentes a la concentración de salinidad aplicada y los genotipos IS-5643 y IS-1096 se seleccionaron como susceptibles.

En una segunda fase los genotipos seleccionados fueron evaluados nuevamente pero ahora con tratamientos de 0, .10 M .15 M, .20 M y .25 M de Cloruro de Sodio. En esta etapa del trabajo se evaluó la fluctuación de algunos compuestos bioquímicos como: clorofila total, prolina, ácido cianhídrico, ceras epicuticulares y acumulación de iones de sodio tanto en las vainas como en las hojas. Se encontró una amplia variabilidad genética entre los genotipos seleccionados para cada uno de los compuestos evaluados y se determinó el posible papel de cada uno de estos compuestos en el mecanismo de resistencia a la salinidad.

## INTRODUCCION

El sorgo es un cultivo que tiene gran importancia a nivel mundial porque significa una muy importante fuente alimenticia para millones de personas que habitan en diferentes áreas como la India, China y algunos países del Norte de Africa. En nuestro país, el sorgo es cultivado en un gran número de hectáreas y su uso básicamente es para la elaboración de alimentos balanceados para el consumo animal, aunque muy recientemente se ha estado utilizando en la fabricación de galletas junto al trigo y en tortillas con el maíz.

En México, específicamente en la región Noreste comprendida por los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, miles de hectáreas de este grano son cultivadas anualmente donde un gran porcentaje de la superficie cultivada se lleva a cabo bajo condiciones de temporal.

El cultivo de sorgo se ha caracterizado desde tiempos remotos por su rusticidad y gran tolerancia a algunos factores adversos lo que le permite prosperar en los ambientes mas hostiles y donde la mayoría de los demás cultivos fracasan o producen muy bajos rendimientos (House, 1980). Los campesinos que año con año esperan una buena precipitación para asegurar la cosecha, tienen que enfrentarse a otros factores como la salinidad que en mayor o menor grado afecta los suelos de las regiones semiáridas del noreste del país.

Algunos trabajos de investigación han mostrado que existe una

amplia variabilidad genética en el sorgo con respecto a la tolerancia hacia algunos factores de estrés como lo son la sequía y la salinidad (Cabrera, 1987; Leal, 1990; Jordan, 1983; Sandoval, 1991), también se ha trabajado seleccionando genotipos "glossy" por su resistencia a estos factores y se ha demostrado que las líneas "glossy" con hojas brillantes y de color pálido, están relacionadas con la resistencia a la mosca del vástago y a la sequía en etapa de plántula, comparados con líneas "no-glossy" (Maiti y Bidinger, 1979; Maiti et al, 1984). Sin embargo, es necesario investigar a un nivel mas profundo el origen natural de esa resistencia para implementar algún programa de mejoramiento genético que transmita la capacidad de resistencia a factores de estrés hacia genotipos caracterizados por sus altos rendimientos.

En el presente trabajo se pretende evaluar algunas características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas de sorgo "glossy" que pudieran estar relacionadas con la capacidad de algunos genotipos de tolerar cierto grado de salinidad en el suelo. Estas líneas de sorgo han demostrado su resistencia al estrés múltiple (Maiti y Bidinger, 1979; Maiti et al, 1984; Maiti et al, 1993).

## **OBJETIVOS**

Evaluar y seleccionar genotipos de sorgo "glossy" y "no glossy" por su resistencia a la salinidad.

Evaluar algunas características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas de los genotipos seleccionados y relacionarlas con la capacidad diferencial de resistencia y susceptibilidad a la salinidad.

## **HIPOTESIS**

Existe variabilidad genética en algunas características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas, que pudieran estar relacionadas con el mecanismo de resistencia a la salinidad en sorgo.

## REVISION DE LITERATURA

El sorgo es uno de los cultivos más importantes en el mundo por las grandes superficies que de él se cultivan y por el volumen de su producción. Su empleo va desde el consumo humano en algunos países del Norte de Africa y la India, hasta su uso en nuestro país en la preparación de alimentos balanceados para animales y muy recientemente en la alimentación del hombre (House, 1980).

Algunos autores hacen referencia, que el centro de origen del sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) es la zona ecuatorial de Africa Oriental probablemente Etiopía o Sudán. Su propagación a otras regiones del planeta se atribuye a la mano del hombre (Wall y Ross, 1975). El sorgo ha sido conocido en la India desde las épocas prehistóricas y se sabe que se producía en Asiria. Al parecer, el sorgo llegó a China hasta el siglo XIII, y al hemisferio occidental hasta el siglo XVIII. Se considera que tiene 5,000 años como especie cultivada para sus diversos aprovechamientos. Hughes, (1974), y Robles (1978).

Angeles (1968) menciona que el primer sorgo cultivado llegó a América en 1853 por el puerto de Nueva York, E.U.A., y fueron establecidos por primera vez en California, en 1874. No se tiene referencia sobre el lugar y fecha de su introducción a México, sin embargo, se tiene la impresión de que esto sucedió a fines del siglo pasado.

Hay quienes señalan que aunque este grano se utilizaba en Argentina, Paraguay y Australia durante los primeros años de la Colonia y no alcanzó mucha importancia en estos países hasta el

siglo actual, en que se introdujeron otras variedades traídas desde Estados Unidos (Wall y Ross, 1975).

El cultivo del sorgo en México se realiza desde hace muchos años, pero los trabajos de experimentación se iniciaron en 1944 con la introducción de algunas variedades e híbridos de grano y forraje que fueron probados en Chapingo y en el Bajío, con el propósito de encontrar las líneas más adecuadas para cada región (Wong, 1976).

En México el cultivo del sorgo empezó a adquirir importancia aproximadamente en el año de 1958, en la zona norte de Tamaulipas, al iniciarse el desplazamiento del cultivo del algodón en aquella región. Con el transcurso de los años, este cultivo ha adquirido cada vez más importancia y se ha extendido prácticamente a todos los estados de la República. La región norte de Tamaulipas sigue siendo una de las zonas donde se cultiva la mayor superficie, así como la zona del Bajío (principalmente Guanajuato) y la costa del Pacífico (Sinaloa y Sonora); le siguen en importancia Michoacán y Jalisco.

El cultivo del sorgo en México ha adquirido importancia ya que en el ciclo primavera-verano de 1990 hubo una producción de 4,128,753 ton. de las cuales 318,746 ton. pertenecen a la región Noreste (SARH, 1990).

Saks (1941) después de experimentar métodos directos en la evaluación de la resistencia en variedades de maíz concluyó que el método más satisfactorio es aquél en el cual las plantas se exponen a sequía bajo condiciones controladas del medio.

Bud-Ellatif y Weibel (1978), en Oklahoma, E.U.A. evaluaron 10

variedades de sorgo para observar su resistencia a sequía, en base a características radiculares; encontrando que el cultivo más resistente produjo raíces más pesadas y volúmenes más grandes, así como el diámetro de raíces más altos.

La selección de plantas tolerantes a la sequía bajo condiciones de campo es frecuentemente dudosa, debido a las constantes fluctuaciones del medio ambiente. Por lo anterior dichas pruebas deberán de complementarse con técnicas bajo condiciones de laboratorio (Kilen y Andrew, 1969).

Las plantas pueden resistir a la sequía mediante diversas adaptaciones anatómicas y fisiológicas (Maximov, 1954). El sorgo presenta adaptaciones que le permiten resistir algunos niveles críticos de sequía, estas adaptaciones pueden clasificarse como; fenológicas, morfológicas, fisiológicas y bioquímicas (Maiti, 1986).

La mayoría de las plantas que pueden resistir sequía poseen mecanismos, tales como un sistema de raíces profundas y bien ramificadas (Turner y Begg, 1981; Sullivan, 1983).

El sorgo presenta varias características que le dan una mayor resistencia a la sequía: la profusa ramificación y la amplia distribución del sistema radicular (Pitner *et al.*, 1955); una serie de hileras higroscópicas se encuentran a los lados de la nervadura central que le causan que las hojas se doblen en lugar de enrollarse como en el maíz; este doblamiento de la hoja se lleva a cabo más rápidamente que el enrollamiento, disminuyendo así la transpiración (Hughes y Henson, 1957); además, la hoja del sorgo

tiene una capa cerosa que contribuye a hacer las especies más resistentes a la sequía (Hughes et al, 1962).

El tamaño y desarrollo de la raíz depende del clima, de la frecuencia y duración de la sequía (Blum, 1970). Hackett (1973) reportó que al someter plantas de sorgo a condiciones limitadas de humedad, sus raíces presentan un menor diámetro y son más largas. Hurd (1976) revisó muchos casos en los que la limitación de agua en la planta disminuyó con el aumento en la profundidad y ramificación de las raíces.

A medida que disminuye el agua en el suelo, el crecimiento de las raíces es importante, porque aumenta el radio y la profundidad de los tejidos radiculares, capaces de absorber agua y porque incrementa la densidad radicular, acortando las distancias a todos los puntos con humedad en el suelo. Concluyendo que especies con esa capacidad de crecimiento radicular en suelos secos, son comparativamente tolerantes a sequía (Soriano y Montaldi, 1980).

Sandoval (1991), encontró que casi el 50% de los genotipos resistentes a la sequía, presentaron mayor longitud y peso seco de raíz en los genotipos tratados, esto se puede considerar como un posible mecanismo de adaptación a las condiciones de estrés de humedad. Maiti et al, (1993) mostró que las líneas "glossy" tienen un mejor crecimiento y eficiencia en el uso del agua bajo condiciones de estrés de humedad.

Kuruvadi et al (1980) evaluaron 14 genotipos de trigo duro en rizotrones con el objetivo de estudiar el potencial del sistema e identificar los mejores modelos del mismo



y encontraron que los genotipos que poseen 40% o más de su masa de raíces entre 60 y 120 cm de profundidad son más importantes; indicando que esto puede contribuir a la resistencia a la sequía como mecanismo de evitación. Por otra parte, Mayaki et al. (1976) observaron que el maíz irrigado produjo 60% de peso seco de raíz en los 3 cm superiores del suelo y el no irrigado solamente el 39%; en cambio, el sorgo produjo 86% y 79% para las mismas condiciones respectivamente.

Dentro de las características morfológicas y anatómicas de una planta que retardan el desarrollo por el déficit de agua, están la raíz y las hojas (Steward, 1959). Las hojas del sorgo se desarrollan durante los períodos de sequía y esta característica, unida a la película cerosa de su superficie, contribuye a la resistencia a la sequía de la especie (Hughes, 1974).

Los cambios morfológicos de adaptación al déficit hídrico son: el área foliar la cual disminuye bajo condiciones de sequía; volumen de raíces, que es mayor bajo condiciones de sequía; longitud y profundidad de raíces (Castro, 1987). Las plantas que crecen en falta de agua desarrollan menos los tallos y más la raíz que los que crecen en buenas condiciones de humedad (Rojas, 1959).

Un gran número de investigadores han estudiado los cambios fisiológicos y bioquímicos en las plantas, los cuales confieren una mayor resistencia a la sequía. Estos cambios le permiten a la planta una mejor adaptación a las zonas áridas con escasa precipitación pluvial. Bidwell (1976) menciona que las plantas sobreviven a la sequía porque sus tejidos internos están protegidos

contra el alto grado de tensión; y que en la mayoría de las plantas la resistencia es conferida aparentemente por la presencia de sustancias hidrofílicas del protoplasma, que pueden ser complejas y de alto peso molecular como las propias proteínas, o ciertos carbohidratos, como el algínico y además polisacáridos coloidales de muchas algas marinas.

Una amplia variedad de compuestos químicos han sido estudiados como posibles solutos responsables del ajuste osmótico en muchos cultivos. Zuñiga et al. (1989), encontraron un incremento de prolina y betaína en plantas de cebada bajo estrés de humedad, mientras que Kapoya et al. (1985), observaron una correlación positiva entre la acumulación de prolina y la tolerancia al estrés de humedad en plantas de frijol. La reducción de la síntesis de proteína es un resultado general de la tensión por sequía y una prueba de resistencia a sequía puede ser el alto contenido de prolina (Nir et al. (1970).

Sing et al. (1972), reportaron que la acumulación de prolina en semillas germinadas de cebada, bajo condiciones controladas, es causada por el estrés de sequía.

Voetberg y Sharp (1991), trabajaron con semillas de maíz, las cuales crecieron en vermiculita bajo potenciales de agua incrementándose la concentración de prolina en la zona de crecimiento de la raíz primaria. Los niveles de prolina fueron particularmente más altos hacia el ápice. Kohl et al. (1991), examinaron el efecto del estrés de sequía en la acumulación de prolina, actividad de la nitrogenasa y actividades de enzimas

relacionadas con el metabolismo de la prolina en nódulos de frijol de soya (*Glycine max* L. Merr) y encontraron una fuerte correlación entre el nivel de prolina y el estrés de humedad.

Las líneas de sorgo resistentes a sequía acumularon altos niveles de prolina en un ambiente con déficit de humedad, mientras que las líneas susceptibles no mostraron acumulación de prolina significativa (Sivaramakrishnan et al (1988). Por otro lado, Takur (1987), estudió el incremento de aminoácidos en raíces de maíz y observó que los contenidos de prolina y ácido aspártico cambiaron significativamente cuando se incrementó el estrés hídrico.

Algunos cambios en los niveles de metabolitos en hojas de *Sesamum indicum* L. (prolina libre, aminoácidos libres, almidón, reducción de azúcar y clorofila total) y las actividades de las enzimas en las hojas (nitrato reductasa, peroxidas y pyrofosfatasa ácida y alcalina) fueron estimadas justamente antes de terminar los períodos de sequía de diferentes intensidades. Los efectos del estrés de agua en los diferentes parámetros medidos, generalmente aumentaron con el incremento en la intensidad del estrés (Vyas et al. 1985).

La acumulación de prolina libre en las raíces de 5 variedades de maíz fueron estudiadas por Patil et al. (1984), y observaron que cuando se incrementó el estrés, el contenido de agua relativa decreció, mientras el contenido de prolina libre aumentó.

Blum y Ebercon (1976) citados por Wong (1979), concluyen que la acumulación de prolina libre en las hojas de plantas de sorgo bajo deficiencia de humedad, está asociada positivamente con la

recuperación de las plantas después de que la deficiencia de agua termina; la prolina sirve como una fuente de energía respiratoria, al recobrase la planta. Fallon y Phillips (1989), observaron que la concentración de prolina se incrementó hasta 40-fold en células adaptadas al estrés hídrico y 12 folds en células no adaptadas. Otros aminoácidos incluyendo alanina, histidina y la arginina se mostraron similares.

La influencia del estrés de agua en el metabolismo de la prolina, en plantas de mora con 4 niveles de estrés de agua fueron estudiadas por Veeranjanyulu y Kumari (1989). En todos los tratamientos el potencial de agua en las hojas fue decreciendo drásticamente, sin embargo el área de las hojas y contenido relativo de agua fueron decreciendo, solo en los tratamientos de estrés muy severos. La acumulación de prolina fue observada tanto en raíz y hojas de los tratamientos en estrés; pero la acumulación fue más grande en las raíces que en las hojas. Las enzimas prolina-dehidrogenasa y prolina-oxidasa fueron inhibidas bajo condiciones de estrés. La prolina-oxidasa fue más inhibida en raíces que en las hojas.

Leal (1990), en su estudio sobre variabilidad del carácter "glossy" y su relación con la resistencia a sequía demostró que el contenido de HCN se incrementa al agudizarse el déficit de humedad, siendo proporcionalmente más alto en los genotipos "glossy" con más brillantez.

Las heladas, la sequía, marchitez y pisoteo por el ganado, aumentan la cantidad de ácido cianhídrico en las plantas. Vinalli

(1921). Nelson (1953) reportó que se pueden producir cantidades mayores de ácido cianhídrico en plantas de segundo crecimiento que en plantas más viejas.

Las plantas bajo sequía favorecen el desarrollo de HCN (Betigniere y Khatchadourian, 1962; Dabuenmire, 1962). Asimismo, Franzke, (1945) encontró que el contenido de ácido cianhídrico en sorgo es más bajo con más agua en el suelo y aumenta con la sequía; lo mismo encontraron Maiti et al. (1984) y De la Rosa y Maiti (1990), quienes demostraron que el contenido de carbohidratos, ácido cianhídrico y ceras epicuticulares, aumentan en plantas de sorgo bajo sequía. Aguirre (1965), encontró que bajo condiciones de helada, daños por frío y daños por sequía, aumentaron la cantidad de HCN producido por las plantas con respecto a los sorgos en estado masoso del grano.

Los miembros del genero *Sorghum spp.*, contienen el glucósido cianogenético P-hidroximandelonitrilo-B-D-glucósido, el cual también se le conoce como durina (Boyd et al., 1944; Koukol et al., 1962 y Vinalli, 1921). Los glicósidos son compuestos los cuales producen uno o más azúcares y uno o más de otros compuestos (aglicones), cuando son hidrolizados, ya sea por ácidos minerales diluidos o por enzimas; Glucósido es un glicósido, pero el glucósido produce glucosa en su hidrólisis; los glicósidos cianogenéticos son los que producen ácido cianhídrico después de su hidrólisis (Moran y Couch citados por Kingsbury ,1958). Estos autores también encontraron que en condiciones naturales la hidrólisis de glucósidos es llevada a cabo por acción enzimática en

la planta o en el animal.

La fórmula empírica de la durina es  $C_{14}H_{17}O_7N$ , y por hidrólisis con ácido clorhídrico diluido y caliente, o por acción de la enzima emulsina, produce una molécula de ácido prúsico (HCN), parahidroxibenzaldeido y dextrosa ( Vinalli, 1921).

Carlson (1958), encontró que la variación en la cantidad de HCN producido podría ser debido a la variación en el tipo o cantidad de glucósido presente o a variaciones en la actividad enzimática.

El Cianuro es formado en ciertas plantas debido a un tipo peculiar de síntesis de proteína, en el cual el Nitrógeno absorbido en forma de nitratos del suelo es cambiado a HCN como un paso intermedio, entre nitratos y aminoácidos (Boyd *et al.* 1938).

El contenido de clorofila total en líneas de sorgo disminuye drásticamente al estar bajo condiciones limitadas de humedad (Saucedo, 1985; Maiti, 1990; Leal, 1990). Esta reducción puede afectar significativamente la capacidad fotosintética de la planta, por lo que la acumulación de materia seca también debe ser afectada. Por otro lado, Ortega *et al.* (1984), observaron cambios metabólicos en caña de azúcar, cuando se incremento el estres de agua, la clorofila-a y la clorofila-b en las hojas, carotenos, proteínas solubles y los contenidos de ácidos nucleicos decrecieron, mientras el nivel de actividad de la nitrato reductasa y el contenido de prolina libre se incrementó con el aumento del estrés de agua.

## METODOLOGIA

El presente trabajo se llevó a cabo en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" en la Ciudad de Saltillo, Coah.

El material genético fué proporcionado por el Instituto Internacional de Investigaciones sobre Cultivos en los Trópicos Semiáridos (ICRISAT) de la India y constó de los siguientes genotipos: IS-1054, IS-1082, IS-1096, IS-2146, IS-2205, IS-2312, IS-2394, IS-3962, IS-4473, IS-4476, IS-5567, IS-5604, IS-5642, IS-8311, IS-18463, IS-18551 y IS-22201.

Los genotipos mencionados fueron evaluados en dos experimentos los cuales fueron diseñados de la siguiente manera:

Experimento 1.- Evaluación y selección de 17 genotipos de sorgo por su resistencia a la salinidad.

Para este experimento se sembraron 8 semillas de cada genotipo en vasos de poliuretano de 300 ml de capacidad. Se utilizó perlita como sustrato y una vez sembradas las semillas se regaron los vasos con suficiente agua destilada para provocar la germinación y emergencia de las plántulas. Los vasos fueron dispuestos en un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 17 x 2 en tres repeticiones. Posterior a la emergencia se llevó a cabo un aclareo y solo se dejaron cuatro plantas por vaso a las cuales se aplicaron 100 ml de solución nutritiva completa. Después de 10 días de la emergencia, se aplicó el tratamiento de salinidad el cual consistió en 100 ml de Cloruro de Sodio 0.25 M a cada vaso. A las

plantas testigo solo se les aplicó agua destilada en cada riego. El experimento se terminó después de 25 días a partir de la emergencia y se evaluaron las siguientes variables: altura, longitud de raíz, peso seco de raíz y peso seco total.

Experimento 2.- Evaluación de algunas características bioquímicas en genotipos de sorgo resistentes y susceptibles a la salinidad.

Cuatro genotipos fueron seleccionados del experimento 1, dos por su resistencia y dos por su susceptibilidad a la salinidad. A los genotipos seleccionados se les evaluaron los siguientes aspectos bioquímicos: contenido de clorofila, ácido cianhídrico, ceras epicuticulares, prolina y acumulación de iones Na y Cl en las hojas.

#### **Determinación del contenido de Clorofila.**

Se sembraron 8 semillas por vaso de cada uno de los genotipos seleccionados utilizando nuevamente perlita como sustrato. También se agregó solución nutritiva al igual que en el experimento 1 y solo varió el tratamiento de salinidad el cual consistió ahora en cinco tratamientos (0.10, 0.15, 0.20, 0.25 M y testigo). Los vasos fueron dispuestos en un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 4 x 5 en tres repeticiones. Para el análisis de clorofila se siguió el método de Goodwin (1976), el cual consistió en lo siguiente: 1 gr de tejido foliar fué macerado en 100 ml de acetona 80 % y luego filtrado a través de un embudo buchner. El filtrado fué leído directamente en un espectrofotómetro Coleman JR-35 a una longitud de onda de 648 y 663 nm. Posteriormente con los



valores de absorbancia se calculó el contenido total de clorofila, clorofila a y clorofila b usando las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned}\text{Clorofila Total} &= 20.2 A_{648} + 8.02 A_{663} \\ \text{Clorofila a} &= 12.7 A_{663} - 2.69 A_{648} \\ \text{Clorofila b} &= 22.9 A_{648} - 4.68 A_{663}\end{aligned}$$

#### **Determinación del contenido de ácido cianhídrico.**

Las semillas fueron sembradas y las macetas dispuestas en el mismo diseño estadístico y con los mismos tratamientos que en el caso del análisis de clorofila. Para la determinación del contenido de ácido cianhídrico se utilizó el método de Pethybridge (1915) el cual consistió en lo siguiente: 0.15 gr de material vegetal (hojas) fueron colocados en un tubo de ensaye, se le agregaron 4 gotas de cloroformo y se le suspendió una tira de papel filtro (12 x 0.5 cm) humedecida con una solución saturada de picrato de sodio. La tira de papel filtro fué sostenida con un tapón de hule, el cual además sirve para sellar el tubo. Los tubos fueron colocados a temperatura ambiente por un período de 24 horas. El color producido en el papel filtro luego fué disuelto en un tubo que contenía 10 ml de agua destilada. Después el color producido fué igualado con los colores estándar.

Los resultados para este método son expresados en términos relativos como: alto, medio y bajo, o bien en ppm basándose en el porcentaje de la muestra de materia seca.

Reactivos y estándares.

Solución de Picrato de Sodio. Se disuelven 25 gr de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y 5 gr de Acido Pítrico en 1000 ml de agua destilada.

Colores estándar. Se disuelven 0.241 gr de KCN en 1000 ml de agua

destilada, esta solución contiene 0.1 mg de HCN por cc. Se colocan 5 ml de la solución de picrato alcalino y 5 ml de la solución de KCN en un tubo de ensaye y se calientan por cinco minutos en baño maría. Luego se añaden las siguientes cantidades a tubos de ensaye:

Tubo No.	ml de solución	mg de HCN
1	0.00	0.0000
2	0.05	0.0025
3	0.10	0.0050
4	0.15	0.0075
5	0.20	0.0100
6	0.30	0.0150
7	0.40	0.0200
8	0.50	0.0250
9	0.60	0.0300
10	0.70	0.0350
11	0.80	0.0400
12	0.90	0.0450
13	1.00	0.0500
14	1.30	0.0650
15	1.60	0.0800

#### **Contenido de ceras epicuticulares.**

Para la evaluación de esta variable se utilizaron plantas que

fueron sometidas a los tratamientos de salinidad anteriormente descritos. Se utilizo la técnica de Ebercon et al, (1976) y consistió en lo siguiente: 10 discos foliares (32 cm<sup>2</sup> de área total incluyendo el haz y el envés) fueron sumergidas en 15 ml de cloroformo redestilado durante 15 segundos. El extracto fué filtrado, evaporado y colocado en baño maría hasta que el olor a cloroformo no fué detectado. Posteriormente se añadieron 5 ml de reactivo(\*) y las muestras fueron puestas en agua hirviendo por 30 minutos. Luego de ser enfriadas en un baño de hielo, se les agregaron 12 ml de agua desionizada y después de 10 minutos se desarrolló el color. Posteriormente la densidad óptica fué leída a 590 nm.

#### **Determinación del contenido de prolina.**

Las semillas fueron sembradas y las macetas dispuestas de la misma manera que en los casos anteriores. Después de 25 días a partir de la emergencia las plantas fueron separadas de las macetas y a las raíces se les quitó el exceso de perlita. Luego se siguió la técnica de Bates et al. (1973) para la determinación del contenido de prolina y que consiste en lo siguiente: 0.5 gr de raíz fueron homogenizados en 10 ml en una solución acuosa de ácido sulfosalicílico al 3 %, posteriormente se filtró a través de un papel filtro Whatman No. 2. Luego 2 ml del filtrado fueron colocados en un tubo de ensaye y se les agregaron 2 ml de ácido ninhidrínico y 2 ml de ácido acético glacial y después el tubo fue calentado a 100 C durante una hora para finalizar la reacción en un

baño de hielo. Después se agregaron 4 ml de tolueno y el contenido del tubo fue mezclado vigorosamente durante 20 segundos. Posteriormente se aspiró la parte de tolueno con una pipeta, se estabilizó a temperatura ambiente y se determinó la absorbancia a 520 nm en un espectrofotómetro. Se utilizó un tubo con tolueno como blanco para calibrar el aparato. La concentración de prolina se determinó a partir de una curva de estandarización y se calculó en base a peso fresco de la siguiente manera:

$$\frac{(\text{mg prolina/ml} \times \text{ml tolueno}) / 115.5 \text{ mg/mmol}}{(\text{gr muestra}) / 5} = \frac{\text{Mmoles de prolina}}{\text{gr de material peso fresco}}$$

#### **Acumulación de iones Na<sup>+</sup> en las plantas.**

Al igual que en las variables anteriores las semillas fueron sembradas y el experimento establecido de la misma manera.

Para la evaluación de esta variable se utilizó material vegetal procedente de las vainas y de la lámina foliar por separado.

El material vegetal fué secado en una estufa a 70 C durante 48 horas, luego fué pesado en una balanza analítica para después ser quemado en un crisol utilizando un mechero bunsen. Posteriormente el crisol con el material quemado fué colocado en una mufla a 500 C para reducir el material vegetal a cenizas. Después se recuperó el sodio de el crisol con lavados de ácido clorhídrico al 20 % y filtrado a través de un papel filtro Wathman No. 41, el filtrado se recuperó y se aforó a 25 ml con agua bidestilada. Posteriormente se

leyó el contenido de sodio en un espectrofotómetro de emisión atómica Zeizz FMD-4. Los resultados fueron luego calculados a ppm utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{ppm} = \frac{\text{ppm curva}}{\text{gr de muestra}} \times \text{VA} \times \text{FD}$$

donde: ppm= ppm totales  
VA= Volumen de aforación  
FD= Factor de dilución

## RESULTADOS

Experimento 1.- Evaluación y selección de 17 genotipos de sorgo "glossy" por su resistencia a la salinidad.

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 1) mostraron que existe una diferencia altamente significativa a una  $P > 0.01$  tanto para la variable altura como para longitud de raíz, peso seco de raíz, peso seco de tallo, y peso seco total.

Tabla 1.- Resultados del Análisis de varianza (F calc.) para las variables altura (ALT), longitud de raíz (LR), peso seco de raíz (PSR), peso seco de tallo (PST) y peso seco total (PSTo) para plantas de sorgo bajo tratamiento de salinidad.

F.V.	GL	ALT (cm)	LR (cm)	PSR (g)	PST (g)	PSTo (g)
GENOT.	16	21.98**	4.27**	5.03**	7.82**	6.14**
SALIN.	1	225.92**	249.65**	416.99**	172.57**	380.45**
INTER.	16	4.15**	3.97**	1.95*	1.84*	2.07*

\*\*  $P > 0.01$

\*  $P > 0.05$

NS= No significativa

C.V.= 21.09 %

Para cada una de las variables evaluadas se realizó una comparación múltiple de medias y en base a estos resultados se encontró que los genotipos IS-22201 y IS-4473 fueron los que mostraron los valores mas altos en las variables evaluadas por lo que se seleccionaron como genotipos resistentes al tratamiento de salinidad aplicado. Por otro lado, los genotipos IS-1096 y IS-5643 fueron seleccionados como los genotipos mas susceptibles por presentar los valores mas bajos en las variables consideradas.

**Experimento 2.-** Evaluación de algunas características bioquímicas relacionadas con la capacidad de resistencia a la salinidad.

**Determinación del contenido de clorofila.**

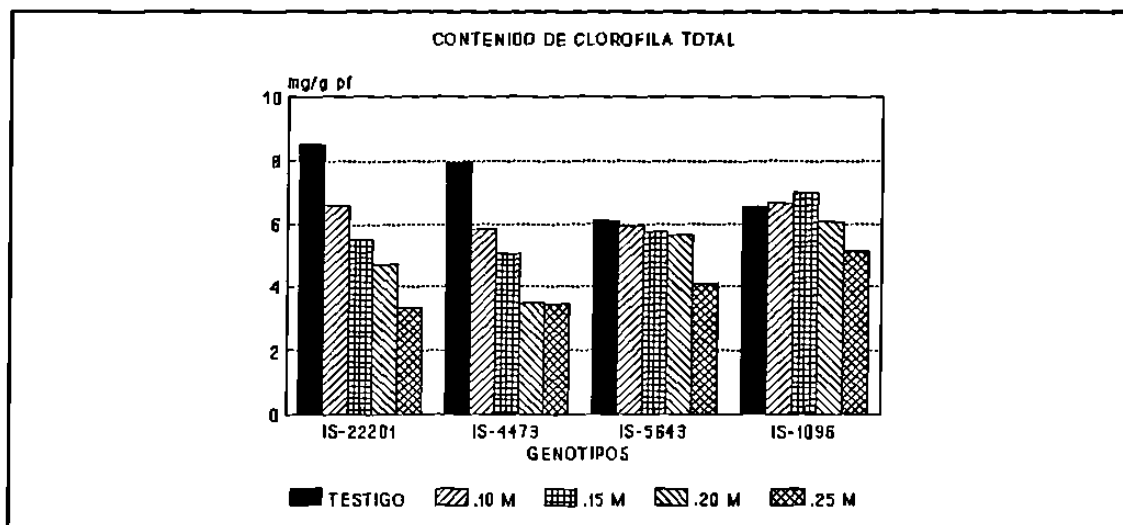
Los resultados del análisis de varianza para esta variable mostraron que existe una diferencia altamente significativa para una  $P > 0.01$  tanto para los genotipos evaluados como para los tratamientos utilizados. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 2.

Tabla No.2.- Resultados del Análisis de varianza (F calc.) para el contenido de clorofila de 4 genotipos evaluados bajo 5 tratamientos de salinidad.

F.V.	G.L.	F	P>F
GENOT.	3	17.56**	0.000
TRATAM.	4	97.69**	0.000
INTERACC.	12	67.23**	0.000
ERROR	40		
C.V.= 12.04 %			

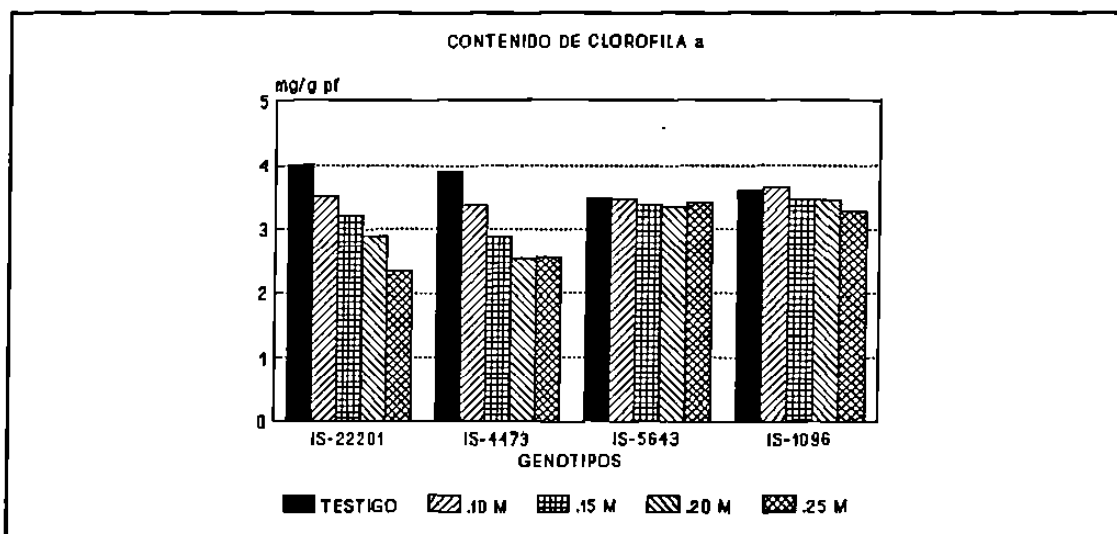
\*\*  $P < 0.01$       \*  $P < 0.05$       NS= No significativo

El contenido de clorofila total en los genotipos IS-22201 y IS-4473 (resistentes) muestra una tendencia a disminuir a medida que la concentración de la salinidad se incrementa mientras que en los genotipos IS-5643 y IS-1096 (susceptibles) no se muestra una tendencia clara y solo se nota una muy ligera diferencia entre el testigo y la concentración mas alta de salinidad (Gráfica 1).



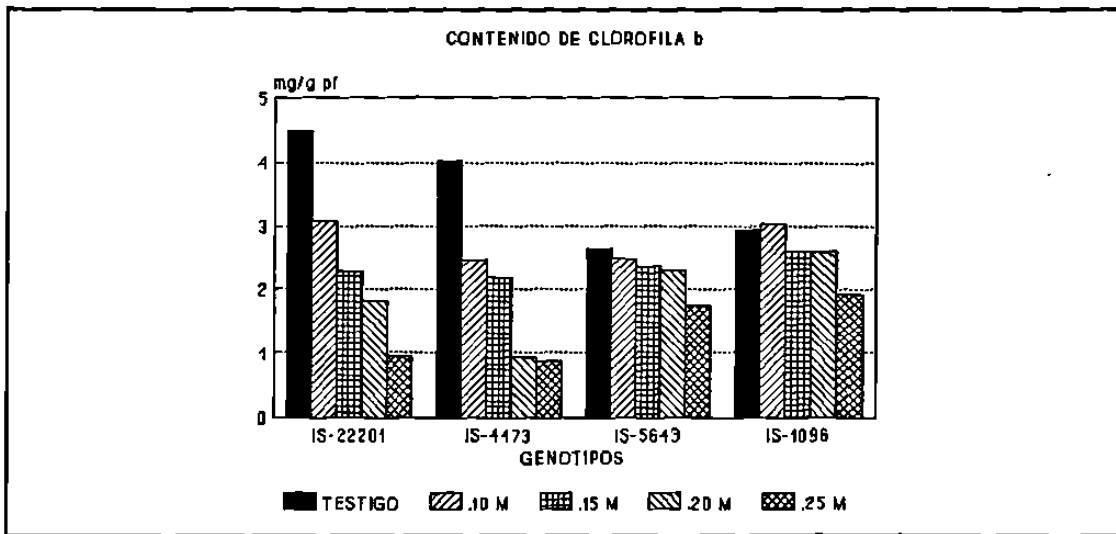
Gráfica 1.- Contenido de clorofila total (mg/g) de cuatro genotipos bajo cinco tratamientos de salinidad.

Con respecto al contenido de clorofila a y de clorofila b se muestra la misma tendencia que en el caso del contenido de clorofila total, aunque se demuestra que existe un mayor contenido de clorofila a (Gráfica 2) que de clorofila b (Gráfica 3).



Gráfica 2.- Contenido de clorofila a (mg/g) de cuatro genotipos bajo cinco tratamientos de salinidad.





Gráfica 3.- Contenido de clorofila b (mg/g) de cuatro genotipos bajo cinco tratamientos de salinidad.

#### Determinación del contenido de prolina.

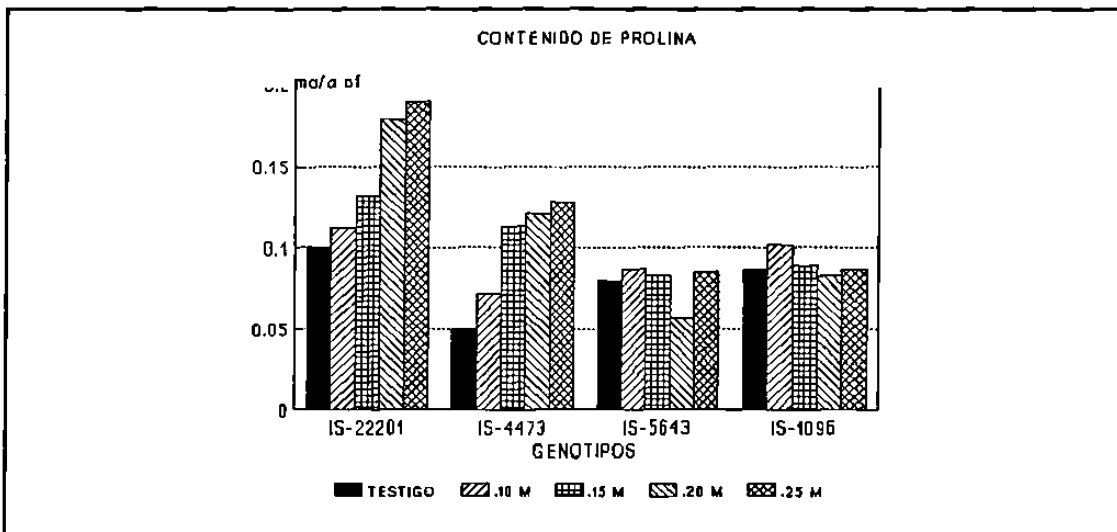
Los resultados obtenidos del análisis del contenido de prolina en las células de la raíz, al ser analizados estadísticamente (Tabla 3) mostraron que existe una diferencia altamente significativa, a una  $P < 0.01$ , entre los genotipos evaluados así como entre las concentraciones de salinidad utilizadas. Los resultados del análisis de varianza se muestran en la siguiente tabla.

Tabla No. 3.- Resultados del Análisis de varianza (F calc.) para el cont. de prolina de 4 genotipos evaluados en 5 trat. de salinidad.

F.V.	G.L.	F	P>F
GENOT.	3	17.95**	0.000
TRATAM.	4	4.70**	0.004
INTERACC.	12	2.77**	0.008
ERROR	40		

C.V. = 25.31 % \*\* $P < 0.01$   $P < 0.05$  NS = No Significativo

La concentración de prolina en las células de la raíz se incrementó considerablemente en los genotipos IS-22201 y IS-4473 a medida que la concentración de cloruro de sodio fué mas alta, mientras que los genotipos IS-5643 y IS-1096 no mostraron un cambio significativo entre el testigo y los diferentes tratamientos de salinidad (Gráfica 4).



Gráfica 4.- Contenido de prolina (mg/g) de cuatro genotipos bajo cinco tratamientos de salinidad.

#### Determinación del contenido de ácido cianhídrico.

Los resultados del análisis de varianza para el contenido de ácido cianhídrico en las hojas de los genotipos evaluados, mostraron que existe una diferencia altamente significativa (Tabla 4) a una  $P < 0.01$  entre los genotipos, así como entre los tratamientos de salinidad utilizados.

Tabla No. 4.- Resultados del Análisis de varianza (F calc.) para el contenido de ácido cianhídrico de 4 genotipos evaluados bajo 5 tratamientos de salinidad.

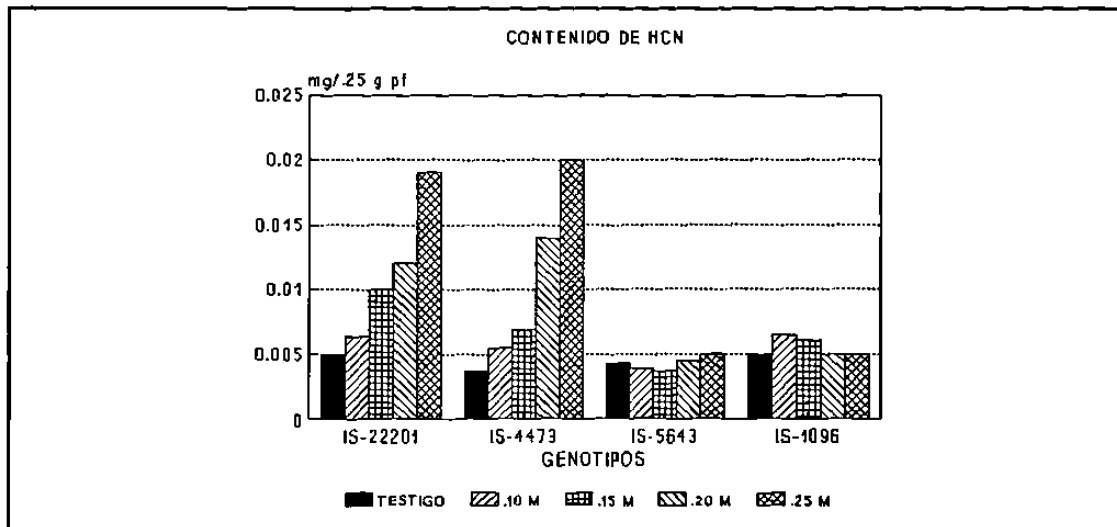
F.V.	G.L.	F	P>F
GENOT.	3	14.63**	0.000
TRATAM.	4	12.17**	0.000
INTERACC.	12	3.74**	0.001
ERROR	40		
C.V.= 19.37 %			

\*\* P<0.01      P<0.05      NS= No Significativo

Los genotipos IS-22201 y IS-4473 mostraron una mayor cantidad de ácido cianhídrico en las hojas de las plantas bajo tratamientos con cloruro de sodio en comparación con el testigo, así como una acumulación gradual de HCN a medida que se incrementó la salinidad. Por otra parte, los genotipos IS-5643 y IS-1096 no mostraron ningún cambio significativo en las plantas bajo tratamiento en comparación con el testigo (Gráfica 5).

#### **Determinación del contenido de cera epicuticular.**

Otro de los aspectos bioquímicos considerados en este trabajo fué la determinación del contenido de cera epicuticular. Los resultados de esta variable también fueron analizados estadísticamente y los resultados indicaron que existe una diferencia altamente significativa a una P<0.01 entre los genotipos evaluados (Tabla 5), mientras que los tratamientos no mostraron diferencia significativa entre los tratamientos de salinidad utilizados.



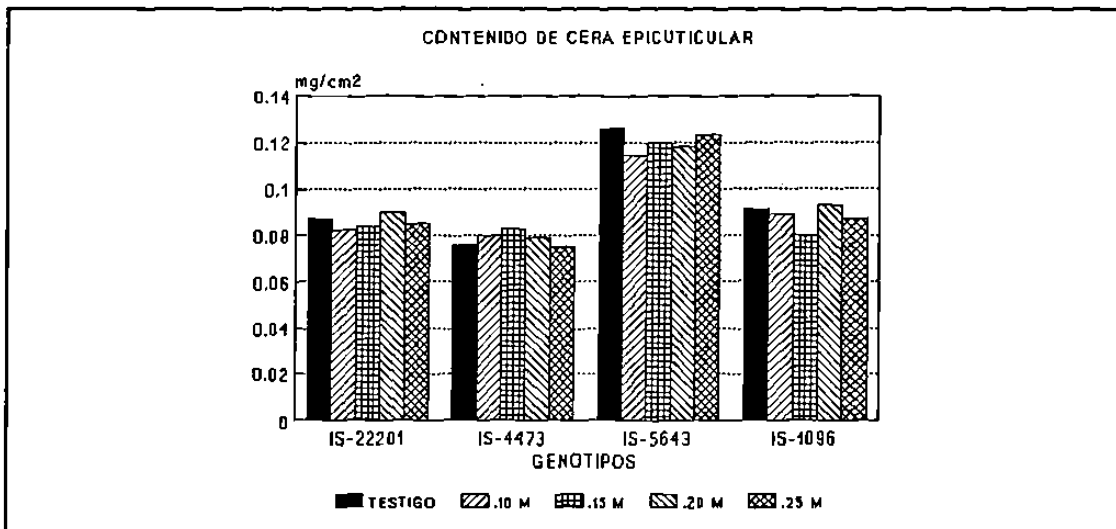
Gráfica 5.- Contenido de ácido cianhídrico (mg/.25g) de cuatro genotipos bajo cinco tratamientos de salinidad.

Tabla No. 5.- Resultados del Análisis de varianza (F calc.) para el contenido de cera epicuticular de 4 genotipos bajo 5 tratamientos de salinidad.

F.V.	G.L.	F	P>F
GENOT.	3	8.39 **	0.000
TRATAM.	4	1.23 NS	0.000
INTERACC.	12	2.14 *	0.001
ERROR	40		
C.V. = 29.18 %			

\*\* P<0.01      P<0.05      NS= No significativo

Los genotipos considerados como resistentes a los tratamientos de salinidad aplicados (IS-22201 y IS-4473), mostraron en general un menor contenido de cera en las hojas que los genotipos seleccionados como susceptibles (Gráfica 6), por otro lado, ningún genotipo mostró diferencias en el contenido de cera al incrementarse la concentración de cloruro de sodio.

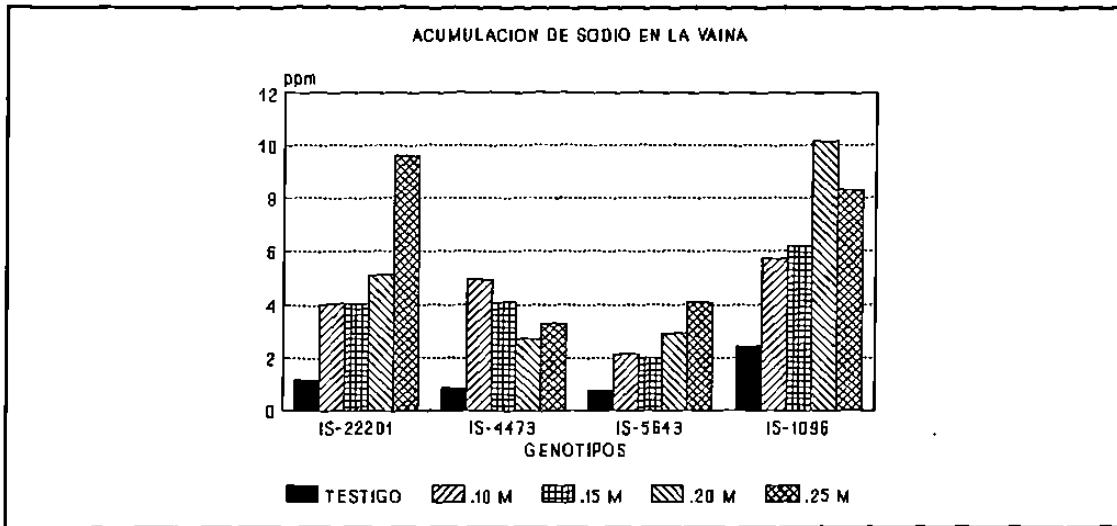


Gráfica 6.- Contenido de ceras epicuticulares (mg/g) de cuatro genotipos bajo cinco tratamientos de salinidad.

#### Determinación de la acumulación de iones Na<sup>+</sup>.

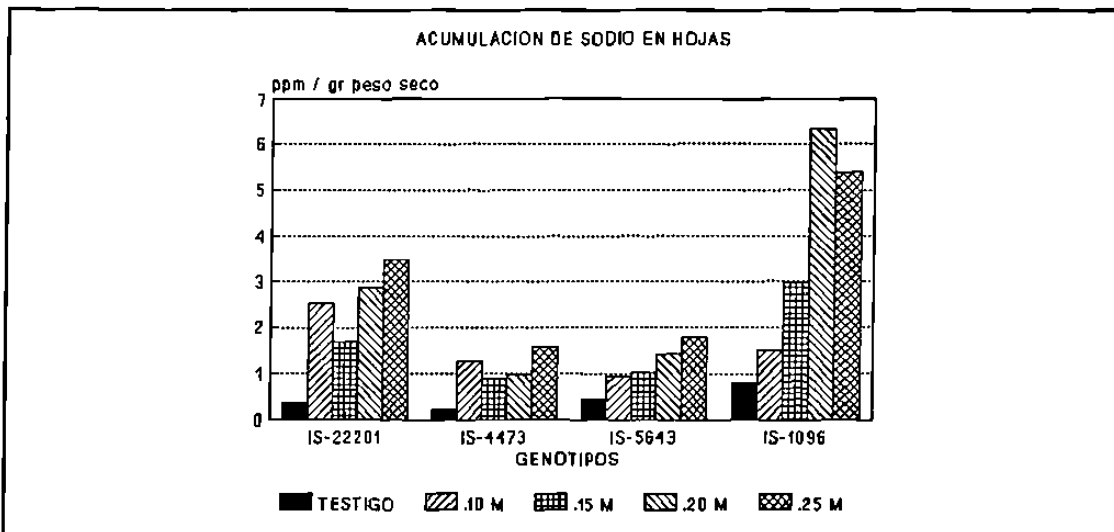
Para esta variable los resultados obtenidos no se analizaron estadísticamente por no contar con suficiente material vegetativo para evaluarse en repeticiones por lo que únicamente se muestran los datos obtenidos en una lectura.

En general se encontró que los 4 genotipos evaluados acumulan una mayor cantidad de iones Na<sup>+</sup> en las vainas en comparación con la cantidad acumulada en las hojas (Gráfica 7). También se observó una ligera tendencia a incrementar el sodio en las vainas de los genotipos IS-22201, IS-5643 y IS-1096 conforme se incrementa el nivel de salinidad, mientras que el genotipo IS-4473, aunque los valores de sodio acumulado son mayores en los tratamientos que en el testigo, la tendencia es a disminuir conforme se aumenta la salinidad.



Gráfica 7.- Acumulación de iones de sodio (ppm) de cuatro genotipos bajo cinco tratamientos de salinidad.

Con respecto a la acumulación de sodio en las hojas (Gráfica 8), se observó que los cuatro genotipos evaluados presentan sus valores mas bajos en los testigos e indistintamente todos presentan una tendencia a incrementar el depósito de iones de sodio en las hojas, cuando se aumenta la salinidad del tratamiento.



Gráfica 8.- Acumulación de iones de sodio (ppm) en las hojas de cuatro genotipos bajo cinco tratamientos de salinidad.

## DISCUSION

El presente estudio fue planteado para la evaluación y selección de genotipos de sorgo glossy y para contribuir al conocimiento del mecanismo de resistencia de este cultivo a diferentes condiciones de salinidad. Anteriormente se ha reportado que el sorgo glossy tiene resistencia a factores bióticos y abióticos (Martin et al. 1935; Maiti et al. 1981; Soman y Peacock, 1985; Soman, 1990; Maiti et al. 1989).

Se llevaron a cabo dos experimentos para demostrar la hipótesis planteada en el sentido de que existe variabilidad entre genotipos de sorgo y en ciertas características bioquímicas que están relacionadas con el mecanismo de resistencia.

Los resultados del primer experimento indican que los genotipos de sorgo glossy evaluados bajo tratamientos de salinidad, muestran una amplia variación genética con respecto a la tolerancia y susceptibilidad a este factor de estrés. Estos resultados coinciden con otros trabajos realizados con líneas de sorgo glossy reportadas por diferentes autores: Sandoval, (1991), Ambriz (1991), Leal (1990), Maiti et al. (1991), quienes también encontraron una amplia variabilidad genética en la respuesta del sorgo a diferentes factores de estrés.

Como resultado del experimento 2, donde se evaluaron algunos compuestos bioquímicos que mostraron tener relación con la capacidad de tolerancia de algunos genotipos a la salinidad, se encontró que el genotipo IS-22201 y el IS-4473 para el análisis de clorofila total, mostraron una respuesta similar a la encontrada

por Maiti et al. (1991), Masojidek et al. (1991) y De La Rosa y Maiti (1990), quienes demostraron que el nivel de clorofila en las hojas tiende a disminuir con respecto al incremento de sequía en el suelo. Resultados totalmente contrarios fueron encontrados por Hou et al. (1987) quienes demostraron que la tolerancia a la sequía esta asociada con un incremento en el número de hojas y el contenido de clorofila.

Es muy probable que la tendencia a disminuir de la clorofila se deba en parte a la necesidad de sintetizar compuestos nitrogenados que actúen como reguladores osmóticos, como pudieran ser la prolina en la raíz y el ácido cianhídrico en las hojas (Boyd et al. 1938; Kapoya et al. 1985; Zuñiga et al. 1989).

Con respecto al contenido de ceras epicuticulares, se encontró en general que los genotipos resistentes tuvieron un menor contenido de ceras que los genotipos susceptibles, quienes presentaron una mayor cantidad de cera en las hojas. Esta respuesta es similar a la encontrada por Ebercon et al. (1977) quien demostró variabilidad en el contenido de ceras epicuticulares en líneas de sorgo glossy y no-glossy. Al parecer la presencia de ceras en la hoja le dá a ésta una apariencia opaca y al presentar un menor contenido la hoja muestra una apariencia brillante. Traere et al. (1989) demostraron que la apariencia brillante de la hoja se relaciona con las vellosidades de la hoja y en un mayor grado con el contenido de ceras. Por otra parte, Blum (1974) demostró que la reflexión de la luz varía con el contenido de ceras en las hojas.

Es posible que con la reflexión de la luz la temperatura de la



hoja no aumente y con esto se disminuya la transpiración lo que puede permitir cierta economía de agua, en cambio, una superficie opaca tiende a absorber mas luz, lo que trae consigo un aumento en la temperatura de la hoja y por lo tanto de transpiración lo cual hace que una planta no soporte tanto tiempo una situación de sequía prolongada.

Otro aspecto evaluado fué la fluctuación de prolina libre en las raíces. Se encontró que para los genotipos IS-22201 y el IS-4473 (resistentes) el nivel de prolina mostró una tendencia a incrementarse con respecto al aumento de salinidad en el suelo, mientras que los genotipos IS-5643 y el IS-1096 (susceptibles) no mostraron ningún cambio en el contenido de este compuesto. Hsiao (1973) y Hansen (1980) también encontraron un incremento en la concentración de prolina en plantas bajo estrés hídrico, mientras que Weimberg et al. (1982) encontraron un incremento en la concentración de prolina en plantas de sorgo cuando se incrementó la salinidad del medio.

Es probable que el incremento de prolina se deba a la capacidad que tienen algunas plantas de acumular compuestos orgánicos ó inorgánicos en el citoplasma de sus células, para disminuir el potencial hídrico y cambiar el gradiente osmótico a su favor, asegurando así el flujo de agua hacia la planta.

Otro compuesto evaluado fué el ácido cianhídrico en las hojas, el cual mostró una tendencia similar a la prolina en las raíces. En los genotipos resistentes se incrementó a medida que la salinidad aumentó, mientras que en los genotipos suceptibles no tuvo una

variación significativa. Maiti (1986), De La Rosa y Maiti (1990) y Leal (1990) encontraron respuestas similares en sorgo glossy bajo condiciones simuladas de sequía.

Los resultados de este trabajo nos permiten establecer que la capacidad de resistencia al factor salinidad no esta dado por una sola característica sino por varias de ellas, es decir, es un mecanismo complejo dado por características múltiples como pueden ser: adaptaciones morfológicas ( capacidad de formar raíces mas largas en situaciones de estrés de humedad o la presencia de un bajo contenido de ceras epicuticulares lo que le dá a la hoja una mayor brillantez) y adaptaciones fisiológicas y bioquímicas como: acumulación de prolina en las raíces y de ácido cianhídrico en las hojas como agentes osmoreguladores y la acumulación de iones sodio en las vainas de las hojas como un regulador del flujo hídrico. Es muy posible que el genotipo que reúna todas estas características sea un genotipo que va a tener un éxito total en situaciones de estrés de salinidad como por ejemplo el genotipo IS-22201. Por otro lado, existen líneas que cuentan solo con algunas de estas características y pueden ser seleccionados como genotipos resistentes (genotipo IS-4473), en comparación con algunos otros que no cuentan con ninguna de estas características (genotipos susceptibles).

Lo anterior pudiera explicar la controversia existente entre algunos investigadores quienes afirman que algunos compuestos, por ejemplo la prolina, no tienen relacion alguna con la capacidad de resistencia a la salinidad. En estos casos pudiera ser que en

realidad la prolina no sea la característica que dé la resistencia al genotipo evaluado y en cambio ésa resistencia sea dada por alguna otra característica.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se demostró que existe variabilidad en la respuesta de diferentes genotipos de sorgo "glossy" evaluados para las características morfológicas y bioquímicas sometidos a diferentes condiciones de estrés por salinidad. La acumulación de prolina en la raíz y de ácido cianhídrico en las hojas, y un menor contenido de cera en la hoja, son características distintivas de los genotipos resistentes a la salinidad. De la misma manera, la mayor acumulación de iones de sodio en la vaina comparado con la hoja en las líneas resistentes, permiten que la actividad fotosintética no se interrumpa por el estrés de salinidad. Los genotipos IS-22201 y IS-4473 seleccionados por su resistencia a la salinidad, presentaron características deseables en su mecanismo bioquímico y pudieran incorporarse en algún programa de mejoramiento genético para resistencia a este factor.

Es necesario llevar a cabo mas investigación sobre los aspectos morfológicos, fisiológicos y bioquímicos que dan a los genotipos la capacidad de tolerar situaciones de estrés, para así seleccionar líneas tolerantes y establecer líneas de investigación que nos lleven a reunir en un genotipo la mayor cantidad de las características que lo hagan resistente a los diferentes factores de estrés.

También es recomendable realizar estudios mas profundos a nivel molecular como caracterización de proteínas , perfiles de aminoácidos, análisis de ADN, que podrían servir como base para una selección de los genotipos resistentes a salinidad y a otros

factores de estrés abiótico a nivel molecular.

## BIBLIOGRAFIA.

Aguirre, V.E.L. 1965. Rendimientos, análisis químico proximal y ácido cianhídrico en sorgos forrajeros (*Sorghum vulgare* Pers.). Tesis, I.T.E.S.M. Monterrey, N.L.

Ambriz, G.L.A. 1991. Evaluación de 25 genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) para su tolerancia a la salinidad y algunos aspectos bioquímicos relacionados con la tolerancia en etapa de plántula. Tesis de Licenciatura. FCB. UANL. Monterrey, N.L. México.

Angeles, A.H. 1968. El Maíz y el Sorgo y sus programas de mejoramiento genético en México. Memorias del tercer Congreso Nacional de Fitogenética (1er Simposio). México.

Bates, L.S.; R.P. Waldren and I. D. Teare. 1972. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39:205-207.

Betigniere, L. y L.D. Khatchadourian. 1962. Ensilado de los forrajes verdes. Edit. Aguilar. 2ª Ed. Madrid. España.

Bidwell, R.G.S. 1976. Fisiología vegetal. AGT Editor, S.A. Méx.; D.F.

- Blum, A. 1970. Effect of plant density and growth duration on grain sorghum yield under limited water supply. *Agron. Jour.* 62:333-336.
- Blum, A. 1974. Effect of the BM gene on epicuticular wax deposition and spectral characteristics of sorghum leaves. *SBRAO Journal*: 45-52.
- Boyd, F.T.; et al. 1938. Sudan grass management for control of cyanide poisoning. *Jour. Amer. Soc. Agron.* 30: 569-582.
- Bud-Ellatif, M.M., and D.E. Weibel. 1978. Evaluation of root characteristic in grain sorghum. *Agron. Jour.* 70 (2): 217-218.
- Cabrera, E.R. 1987. Efecto del gradiente de humedad del suelo sobre genotipos de sorgo para grano (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) con características glossy y no-glossy. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Agronomía. UANL. Monterrey, N.L. México.
- Carlson, I.T. 1958. Inheritance of HCN production in crosses between sorghum and sudan grass. *Agron. Jour.* 50 (6): 302-306.
- Castro, B.F. 1987. Respuestas morfofisiológicas de dos especies de frijol (*Phaseolus vulgaris* L. *P. acutifolius* A. Gray) a sequía simulada con polietilen glicol bajo condiciones de invernadero. Tesis Profesional. Escuela Superior de Biología.

Gomez Palacio Durango. México.

De la Rosa, M. y Maiti, R.K. 1990. Determinación del posible mecanismo bioquímico de resistencia a sequía en sorgo. Resúmenes del V Congreso Latinoamericano de Botánica. La Habana, Cuba.

Daubenmire, R.F. 1962. Plants and environment. A text book of plant autoecology. 2ª Ed. Wiley and Sons Inc. New York.

Fallon, K.M.; Phillips, R. 1989. Responses to water stress in adapted and unadapted carrot call suspension cultures. Jour. Exp. Bot. Oxford. Oxford University Press. V.40:(215).

Ebercon, A., Blum, A. and Jordan, W.R. 1977. A rapid colorimetric method for epicuticular wax on sorghum leaves. Crop Science 17:179-180.

Franzke, C.J. 1945. Effect of manure, moisture and mechanical injury on the hydrocyanic acid content of sorghum. Jour. of Amer. Soc. of Agron. 37: 523-531.

Goodwin, T.W. 1976. Chemistry and biochemistry of plant pigments. Vol.1 & 2. Academic Press, Inc. New York. U.S.A.



- Hackett, C. 1973. A growth analysis of young sorghum root system. Aust. Jour. 67:297-300.
- Hansen, A.D. 1980. Interpreting the metabolic responses of plants to stress. Hort. Sci. 15:9-15.
- Hou, H.T., Zhang, S.Y., and Zhao, G.D. 1987. A preliminary study on the inheritance of drought tolerance in sorghum. Hereditas 9:8-12.
- House, L.R. 1980. A guide to sorghum breeding. ICRISAT. Parancheru, A.P. India.
- Hsiao, T. 1973. Plant responses to water stress. Ann. Rev. of Plant Physiol. 24:519-570.
- Hughes, H.D.; M.E., Heath y D.S., Metcalfe. 1962. Forrajes. 2ª Ed.. Iowa State Univ. Press Ames. Iowa.
- Hughes, H.D. 1974. Forrajes. 2ª Ed. Ed. Continental. México.
- Hughes, H.D. y E.R., Henson. 1957. Crop production. Edición revisada. The Mc Millan Co. New York.
- Hurd, E.A. 1976. Plant breeding for drought resistance. In T.T. Kozlowski. Ed. Water deficit and plant growth Academic Press.

New York.

- Jordan, W.R. 1983. Whole plant responses to water deficit. An overview. In: Limitations to efficient water use in crop production. American Society of Agronomy, Madison, USA.
- Kapoya, J.A.; Borendse, G.W.M.; Linskens, H.F. 1985. Water stress tolerance and proline accumulation in *Phaseolus vulgaris* L. Acta Bot. Neerl. 34 (3): 293-300.
- Kilen, T.C. and R.H. Andrew. 1969. Measurement of drought resistance in corn. Agron. J. 61: 699-677.
- Kingsbury, S.M. 1958. Plants poisonous to livestock. A Review Jour. Dairy Sci. 41: (7):875-907.
- Kohl, D.H.; Kennelly, E.J.; Zhu, Y.; Schubert, K.R.; Shearer, G. 1991. Proline accumulation, nitrogenase (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> reducing) activity and activities of enzyme related to proline metabolism in drought-stressed soybean nodules. Jour. Exp. Bot. Oxford. Oxford University Press. V.42:(240)
- Koukol, L.J.; P. Miljanich y E.E. Conn. 1962. The metabolism of aromatic compound in higher plants. VI. Studies on the biosynthesis of dhurrin the cyanogenic glucoside of *Sorghum vulgare*. Jour. of Biol. Chem. 237:3223-3228.

- Kuruvadi, S.T.F.; Townley and Smith. 1980. Modelo de raíces en trigo macarronero en rizotrones. Instituto Mexicano de Cooperación para la Agricultura. 36 (4). San José, Costa Rica.
- Leal, R.F. 1990. Variabilidad del carácter "glossy" y ceras epicuticulares en sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] y su relación con la resistencia a la sequía. Tesis M.C. en Producción Agrícola. Fac. de Agronomía. U.A.N.L. Marín, N.L., México.
- Maiti, R.K.; Bidinger, F.R. 1979. A simple approach to the identification of shoot fly tolerance in sorghum. *Indian Journal of Plant Protection* 7:135-140.
- Maiti, R.K., Rao, K.E., Raju, P.S. and House, L.R. 1984. The glossy trait in sorghum. Its characteristics and significance in crop improvement. *Fields Crop Research Institute* 9:279-289.
- Maiti, R. K. 1986. Morfología, crecimiento y desarrollo del sorgo. UANL. Fac. de Agronomia, Marín, N.L. México.
- Maiti, R.K.; P. S. Raju; B. V. S. Reddy; J. M. Peacock. 1989. Evaluation of techniques to screen for drought resistance in sorghum seedlings. *Turrialba* 39(1):106-110.

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 del proyecto financiado por la Secretaria de Educación Pública. Inédito. Fac. de Ciencias Biológicas. U.A.N.L., Monterrey, N.L.

Maiti, R.K., Verde, S.J., Martínez, L.S. and Rodriguez, A. J.A. 1991. Evaluation of some glossy sorghums strains for epicuticular wax, chlorophyll and hydrocyanic acid content at the seedling stage. Publicaciones Biológicas FCB. UANL. 5:27-30.

Maiti, R. K., P. S. Raju and F. R. Bidinger. 1981. Evaluation of visual scoring for seedling vigour in sorghum. Seed Sci. & Technol. 9:613-622.

Maiti, R.K., Reddy, Y.V.R. and Rao, V.S. 1993. Seedling growth of glossy and non-glossy sorghums under water stress and non-stress condition. Phyton 54(2) in press.

Martin, J.H.; J. W. Taylor; R. W. Leukel. 1985. Effect of soil temperature on seedling emergence in sorghum. Indian Journal Agricultural Science 8, 848-951.

Masojidek, J., Trivedi, S., Halshaw, L. and Hall, D.O. 1991. The

synergistic effect of drought and light stresses in sorghum and pearl millet. *Plant Physiol.* 96:198-207.

Maximov, N.A. 1954. *Fisiología vegetal*. 2ª Ed. Compañía edit. Continental, S.A. Méx., D.F.

Mayaki, N.C.; L.R. Stone and I.D. Teare. 1976. Irrigated and nonirrigated soybean, corn and grain sorghum root systems. *Agron. Jour.* 68:532-534.

Nelson, C.E. 1953. HCN content of certain sorghums under irrigation as affected by nitrogen fertilizer and soil moisture stress. *Agron. Jour.* 45: 615-618.

Nir, I; A. Poljakoff-Mayber and S. Klein. 1970. The effect of the water stress on the polysome population and the ability to incorporate aminoacids in maize root tips. *Israel. J. Bot.* 19: 451-462.

Ortega, D.E.; Pardo, J.; Gonzalez, M.A. 1984. Metabolic changes in sugarcane plants subjected to water stress. *Ciencias de la Agricultura*. Nº 21.

Patil, S.J.; Panchal, Y.C.; Janardhan, K.V. 1984. Effect of short term moisture stress on free proline and relative water content in different plant parts of maize genotypes. *Indian*

Journal of Plant Physiology. 27: (4), 322-327.

Pitner, J.B.; J.L. Lazo y N. Sánchez. 1955. El cultivo del sorgo.  
S.A.G. O.E.E. México. Folleto técnico N° 15.

Robles S.R. 1978. Producción de granos y forrajes. 2 Ed. Ed.  
LIMUSA. México.

Rojas, G.M. 1959. Principios de fisiología vegetal. UNAM. Imprenta  
Universitaria. México, D.F.

Saks, A.I. 1941. On several direct methods of evaluation wheat  
varieties as regards their drought resistance. Bull. Acad.  
Sci. U.R.S.S. Cl. Sci. Math. 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 plantula. Tesis  
Licenciatura. Fac. de Ciencias Biológicas. U.A.N.L. Monterrey,  
N.L.

S.A.R.H. 1990. Dirección General de Política Agrícola. Folleto de  
Divulgación. México, D.F.

Saucedo, R.J.M. 1985. Comparación de algunas características  
anatómicas y morfológicas para su resistencias a la sequía en

estado de plántula, en Marín, N.L. Tesis Licenciatura. Fac. de Ciencias Biológicas. U.A.N.L. Monterrey, N.L.

Sing, T.N.; Aspinall, D.; Paleg, L.G. 1972. Proline accumulation and varietal adaptability to drought in barley, a potential metabolic measure of drought resistance. *Nature*. 236: 188-190.

Sivaramakrishnan, S.; Patell, V.Z.; Flower, D.J.; Peacock, J.M. 1988. Proline accumulation and nitrate reductase activity in contrasting sorghum lines during mid-season drought stress. *Physiologia Plantarum*. 74(3):418-426.

Soman, P. 1990. Development of a technique to study seedling emergence in response to moisture deficit in the field. The seed bed environment. *Annals of Applied Biology* 116:1357-364.

Soman, P. and J. M. Peacock. 1985. A laboratory technique to screen seedling emergence of sorghum and pearl millet at soil temperature. *Experimental Agriculture* 21:335-341.

Soriano, A. y E. Montaldi, R. 1980. Reacciones hídricas. *Fisiología vegetal*. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, República de Argentina.

- Steward, F.C. 1959. Plant Physiology. Vol II. Academic Press. New York.
- Sullivan, Y.Ch. 1983. Genetic variability in physiological mechanism of drought resistance. Iowa State. J. Res. 57 (4): 423-439.
- Takur, P.S. 1987. Amino acid spectrum and water stress in roots of maize cultivars during juvenile period. Annals of Plant Physiology. 1(1):10-18.
- Traere, M., Sullivan, C.Y., Rososki, J.R. and Lee, K.W. 1989. Comparative leaf surface and glossy characteristics of sorghum, maize and pearl millet. Annals of Botany 64:447-453.
- Turner, N.C. and J.E. Begg. 1981. Plant water relations and adaptations to stress. Plant and Soil 58:57-131.
- Veeranjaneyulu, K.; Kumari, B.D.R. 1989. Proline metabolism water stress in mulberry. Jour. Exp. Bot. Oxford. Oxford University Press. V.40:214.
- Vinalli, H.N. 1921. A study of the literature concerning poisoning of cattle by prussic acid in sorghum, sudan grass and Jhonson grass. Jour. Amer. Soc. Agron. 13: 267-280.



- Voetberg, G.S.; Sharp, R.E. 1991. Growth of the maize primary root at low water potentials III. Role of increase proline deposition in osmotic adjustment. *Plant Physiology* V.96(4):1125-1130.
- Vyas, S.P.; Kathjua, S.; Garg, B.K.; Lahiri, A.N. 1985. Performance and metabolic alterations in *Sesamum indicum* L. under different intensities of water stress. *Annals of Botany*. 56(3):323-331.
- Wall, S.J. y W.M. Ross. 1975. Producción y uso del sorgo. Edit. Hemisferio Sur. Argentina.
- Weimberg, R., Lerner, H.R. and Poijakoff, M.A. 1982. Changes of growth and water soluble concentrations in *Sorghum bicolor* (L) Moench. stressed with sodium and potassium salts. *Plant Physiol.* 62:472-480.
- Wong, R.R. 1976. Comportamiento de híbridos y variedades de sorgo de grano bajo temporal en la región General Trías Satevó. Tesis Licenciatura. UAA"AN".
- Wong, R.R. 1979. Comportamiento de las características agronómicas, índices fisiológicos y patrones de crecimiento de 50 genotipos de sorgo bajo el esquema riego-sequia. Tesis. Maestría. Colegio de postgrado, Chapingo, México.

Zuñiga, G.E.; Argandona, V.H. & Corcuera, L.J. 1989.  
Distribution of glycine, betaine and proline in  
water stress and unstressed barley leaves.  
Phytochemistry. 28 (2): 419-420.

