



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
IZTACALA

BO189/85
A77 Ep. 2

Biología

EVALUACION DE LA RESPUESTA FISIOLÓGICA

DE TRES VARIETADES DE SORGO BAJO EL

ESQUEMA RIEGO - SEQUÍA.

T E S I S

Que para obtener el Título de:

B I O L O G O
P R E S E N T A:

Alberto Arriaga Frias

1985



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

La sapiencia del "Homo" no es lo mismo que el Homo sapiens.

Lo primero, es el hecho real y concreto
Lo segundo, la aspiración sublime.

Hijo, ¡que haz hecho de mí!

LA NATURALEZA

INDICE

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS-----	I
ABREVIATURAS-----	III
RESUMEN-----	1
INTRODUCCION-----	2
REVISION DE LITERATURA-----	4
Medida de la humedad del suelo-----	4
Resistencia a la sequía-----	6
Respuesta fisiológica al stress hídrico-----	8
Ceras-----	8
Contenido relativo de agua-----	10
Transpiración-----	12
Frecuencia estomática-----	14
Evaluación de la resistencia a la sequía-----	15
Raíces-----	17
Razón vástano/raíz-----	19
Crecimiento foliar-----	20
OBJETIVO-----	23
MATERIAL Y METODOS-----	24
RESULTADOS-----	30
DISCUSION-----	51
DIAGNOSTICO-----	66
CONCLUSIONES-----	67
SUGERENCIAS-----	68
REFERENCIAS-----	69

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 1.	Descripción de variedades-----	24
Cuadro 2.	Análisis de varianza del contenido de ceras en riego y sequía-----	34
Cuadro 3.	Análisis de varianza del contenido relativo de agua en riego y sequía-----	34
Cuadro 4.	Análisis de varianza de la transpiración a medio día en riego y sequía-----	35
Cuadro 5.	Análisis de varianza de la transpiración en la tarde en riego y sequía-----	35
Cuadro 6.	Análisis de varianza de la frecuencia estomática en riego y sequía-----	36
Cuadro 7.	Análisis de varianza del peso seco de la porción aérea en riego y sequía-----	36
Cuadro 8.	Análisis de varianza del peso seco de las raíces en riego y sequía-----	37
Cuadro 9.	Análisis de varianza de la razón vástago/raíz en riego y sequía-----	37
Cuadro 10.	Promedios y error estandar de las determi- naciones realizadas en sorgo en riego y sequía	38
Cuadro 11.	Distribución porcentual del peso de las raíces y porcentaje de humedad promedio en tres niveles de profundidad-----	45
Figura 1.	Dispositivo para medir los cambios de lonci- tud en las hojas de plántulas de sorgo-----	28
Figura 2.	Efecto del riego y sequía sobre la concentración de ceras-----	39
Figura 3.	Efecto del riego y sequía sobre el contenido relativo de agua-----	40
Figura 4.	Efecto del riego y sequía sobre la transpi- ración a medio día y en la tarde-----	41
Figura 5.	Efecto del riego y sequía sobre la frecuencia estomática-----	42

II

Figura 6. Efecto del riego y sequía sobre la acumulación de materia seca en la porción aérea--	43
Figura 7. Efecto del riego y sequía sobre la acumulación de materia seca en las raíces-----	44
Figura 8. Efecto del riego y sequía sobre la distribución de la materia seca de las raíces en tres profundidades (30, 60 y 90 cm)-----	46
Figura 9. Efecto del riego y sequía sobre la razón vástago/raíz-----	47
Figura 10. Efecto del riego y sequía sobre la velocidad de crecimiento foliar en RB20-20-----	48
Figura 11. Efecto del riego y sequía sobre la velocidad de crecimiento foliar en Valles Altos 110-----	49
Figura 12. Efecto del riego y sequía sobre la velocidad de crecimiento foliar en M35-1-----	50
Figura 13. Espectro de variación fisiológica de RB20-20 en riego y sequía-----	61
Figura 14. Espectro de variación fisiológica de Valles Altos 110 en riego y sequía-----	63
Figura 15. Espectro de variación fisiológica de M35-1 en riego y sequía-----	65

ABREVIATURAS

Riego	R
Sequía	S
Valles altos 110 en condiciones de riego	VAR
Valles altos 110 en condiciones de sequía	VAS
Valles altos 110	VA-110
RB20-20 en condiciones de riego	RBR
RB20-20 en condiciones de sequía	RBS
M35-1 en condiciones de riego	MR
M35-1 en condiciones de sequía	MS
Capacidad de campo	CC
Punto de marchitamiento permanente	PMP
Ceras	CE
Transpiración en la mañana	TM
Transpiración en la tarde	Tt
Contenido relativo de agua	CRA
Deficit de saturación de agua	DSA
Porción aérea	PA
Raíces	R
Frecuencia estomática	FE
Razón vástago/raíz	V/R
Espectro de variación fisiológica	EVF

AGRADECIMIENTOS

Al Biol. Carlos Acosta Zamudio, asesor de ésta investigación e invaluable profesor y amigo por su apoyo y orientación.

Al Laboratorio de Fisiología Vegetal del Depto. de Fitotecnia de la U.A.Ch. por haber permitido la realización del presente trabajo.

A la Biol. Martha O. Salcedo Alvarez por las facilidades dadas para el uso de instalaciones y equipo del laboratorio de Fisiología Vegetal de la E.N.E.P.I. así como por su buena disposición y ayuda.

A los profesores miembros del jurado, por la revisión crítica del trabajo.

Biol. Carlos Acosta Zamudio.
M. en C. Ernesto Aguirre León.
Biol. Jose Luis Andrade Torres.
M. en C. Gabriel Camarena Gutierrez.
Biol. Daniel Tejero Diez.

Al M. en C. Enrique Romo C. por proporcionar las variedades de sorgo utilizadas e información diversa durante el desarrollo de la investigación.

Al Biol. Jose Luis Andrade T. por su asesoría en el análisis estadístico de la información generada.

Al Biol. Sinhue Ponce G. y al Biol. Gerardo Ortiz M. por su colaboración en la elaboración de los esquemas.

DEDICATORIA

A mis padres:

Aurora y Seferino
por su amor y enseñanzas.

A mi Abuelita
Consuelo

A mis hermanos:

Alejandro, Aurora, Adriana
y Armando.

A mi preciosa
Beatriz
con todo mi amor.

A Aurorita.

RESUMEN

En la selección de variedades resistentes a sequía teniendo como criterio únicamente el rendimiento, se han descuidado otros aspectos complementarios importantes como los criterios fisiológicos con los que se podrían evaluar de forma más completa la respuesta de la planta ante un déficit hídrico.

Lo anterior motivo la realización del presente trabajo donde se midió la respuesta fisiológica de tres variedades de sorgo (Valles altos 110, RB20-20 y M35-1) determinando ceras, contenido relativo de agua, transpiración a medio día y en la tarde, frecuencia estomática, peso seco de la porción aérea y radicular, razón vástago/raíz y crecimiento de la hoja.

Se elaboraron gráficas integrativas de todas las características (espectro de variación fisiológica) para poder evaluar en conjunto la respuesta en riego como en sequía y así poder tener una caracterización del tipo de respuestas que utilizaron las plantas y obtener un diagnóstico de la resistencia de cada variedad.

Valles altos 110 resultó una variedad susceptible al déficit hídrico ya que evadió la sequía vía un eficiente control de la transpiración y la síntesis de ceras.

RB20-20 tuvo poca susceptibilidad a la sequía. Al compararlo con el tratamiento de riego mostró nula diferencia en la porción aérea, frecuencia estomática y contenido de ceras por lo que evadió la sequía con un sistema radical eficiente y la regulación de la transpiración.

M35-1 tuvo disminuciones drásticas de tamaño en sequía y evadió ésta principalmente con un elevado contenido de ceras y un sistema radical desarrollado.

Se proponen los gráficos integrativos de todas las características como una forma sencilla de evaluar la respuesta a la poca disponibilidad de agua en el suelo.

INTRODUCCION

La sequía o deficiencia de agua, es el factor ecológico que más limita la producción de cosechas. México se halla entre los 14 y 33° de latitud septentrional y ello presenta dos consecuencias con respecto a la aridez de nuestro país. La primera es que al hallarse situado dentro de parte de la zona subtropical se encuentra sometida a las altas presiones que son características de los grandes desiertos del globo. En segundo lugar, la costa occidental de California está sujeta a la acción de una corriente marina fría lo que torna más estable el aire provocando tiempo seco en uno o más meses del verano.

Otra causa importante de aridez la constituye el efecto que ejercen nuestras cadenas montañosas que al inducir el levantamiento forzado del aire húmedo procedente del mar se condensa y precipita en sotavento dejando, por consiguiente, seco el interior (Mosiño, 1974).

De acuerdo con criterios diversos, las zonas secas de la Republica Mexicana cubren del 50 al 70% de su territorio -- (Rzedowski, 1968). Por otro lado, el 80% de la superficie cultivada depende de las lluvias como única fuente de agua -- (Muñoz, 1980) y el 85% de cultivos básicos se siembran bajo condiciones de temporal (Urbieta, 1982).

Entre los cultivos que han adquirido reelevancia se encuentra el sorgo (Sorghum bicolor L. Moench) cuya importancia ha crecido al grado de que en 1980 ocupó el tercer lugar de la superficie cultivada que fué de 1.5 millones de hectareas (Romo y Carballo, 1981).

Los programas de mejoramiento genético han generado una gran diversidad de genotipos utilizando de forma centralizada criterios de selección para incrementar la productividad, descuidando aspectos tales como la evaluación de características fisiológicas que pudieran evidenciar su potencialidad bajo medios ambientes desfavorables. Lo anterior se debe tal vez a la escasa información disponible sobre técnicas sencillas que

faciliten dichas evaluaciones (Márquez, 1983).

Es bajo ésta perspectiva que se planteó el presente trabajo con el objeto de evaluar la respuesta fisiológica de -- tres variedades de sorgo bajo el esquema de riego-sequía utilizando técnicas seleccionadas expofeso por su facilidad de aplicación para determinar:

- Contenido de ceras.
- Distribución radicular.
- Razón vástago/raíz.
- Transpiración.
- Frecuencia estomática.
- Crecimiento foliar.
- Contenido relativo de agua.

Se utilizaron dos variedades tardías (ciclo largo) que fueron RB20-20 y M35-1. La otra variedad fué Valles altos 110 con un ciclo intermedio.

Conviene resaltar que M35-1 se ha reportado como resistente a sequía (Blum, 1974; Nour y Weibel, 1978; Jordan et al. 1983), por lo que se tomó como referencia al realizar las comparaciones mencionadas.

REVISION DE LITERATURA

La sequía presenta muchas facetas diferentes, ya que ello varía de acuerdo al interes particular del investigador y de ahí la gran cantidad de definiciones que han sido desarrolladas de acuerdo a criterios diversos como son:

- a) Precipitación.
- b) Precipitación y temperatura media.
- c) Agua en el suelo y características del cultivo.
- d) Indices climáticos y estimaciones de la evapotranspiración
- e) Definiciones generales. (W.M.O., 1975).

En términos generales las deficiones basadas en precipitación se refieren a periodos entre 10 y 21 días con diversos valores de mm de lluvia o de ausencia total de éstas.

Por otro lado, la definición de Condra (1944) como un periodo de baja precipitación y alta temperatura asociada - usualmente con una baja humedad relativa, resume, en nuestra opinión, las definiciones basadas en este criterio.

Quinzenberry (1982) establece que es cualquier periodo durante el cual la deficiencia o demanda excesiva de agua afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas. También menciona que la duración de dicho periodo determinará la magnitud del daño a las plantas.

Decker (1983, citado por Márquez, 1983) opina que las definiciones basadas en aspecto climáticos o reducción en el rendimiento proveen una guía poco adecuada de la eficiencia de uso de agua, por lo que sostiene que utilizar indicadores de la humedad del suelo es más conveniente.

Consideramos que la definición de Quinzenberry (1982) y la de Decker (1983) como las más adecuadas para el diseño y desarrollo de la presente investigación.

Medida de la Humedad del Suelo.

La evaluación del contenido de agua del suelo abarca el intervalo comprendido entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (pmp) del cual las plantas disponen.

La primera se define como el contenido de agua de la porción húmeda del suelo, después que el exceso ha sido drenado y que da retenida a una tensión de aproximadamente $-1/3$ de atmósfera. Por otro lado, el punto de marchitamiento permanente se refiere al valor en el cual las plantas no pueden reponer el agua suficiente para recobrar su turgencia correspondiendo generalmente a un valor aproximado a una tensión de -15 atmósferas (Aguilera y Martínez, 1980). Empíricamente el punto de marchitamiento permanente se puede calcular dividiendo el porcentaje de humedad a capacidad de campo entre 2.0 con suelos arcillosos, 2.1 para suelos medios y 2.2 en suelos arenosos -- (Torres, 1983).

Se considera que a capacidad de campo la humedad aprovechable es de 100% y en el punto de marchitamiento permanente es de 0%.

Cantú (1980), encontró que la energía con la cual la humedad es retenida por el suelo no aumenta rápidamente hasta que el 60-80% del agua disponible ha sido removida por lo que el crecimiento de las plantas declina.

En otras investigaciones se ha demostrado una notable reducción en rendimiento si la humedad de la zona de la raíz baja a menos del 20% del total aprovechable. Asimismo, que 15% es un buen límite inferior que puede servir para planear el riego de la mayoría de los cultivos (S.C.S., 1972).

Complementariamente se ha afirmado que bajo ciertas condiciones, las plantas pueden obtener suministro de agua con igual facilidad entre capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente, ie. que el crecimiento de las plantas no disminuye hasta que el contenido de humedad se acerca al pmp (Robert, 1956, citado por Rodríguez Peña, 1969).

Sin embargo, Rodríguez Peña (1969) en un estudio con soya donde probó el efecto de diferentes grados de humedad en el suelo (20 a 80%) concluyó que el tratamiento donde hubo mayores rendimiento de grano y materia seca fué el que se ajustó a 80%, no encontrando diferencias significativas con el

tratamiento de 60% de humedad aprovechable. Se entiende por ende, que en los siguientes tratamiento se presento un abatimiento evidente.

Resistencia a la Sequía.

Muñoz (1980) la define como la capacidad de una planta para rendir aceptablemente bajo sequía en función de su potencial genético medio y la interacción de ese potencial con las variaciones de humedad.

Se han identificado tres tipos de mecanismos de resistencia (May y Milthorpe, 1962 y Turner, 1972 citados por Paleg y Aspinall, 1981):

1. Escape a la sequía.

Se refiere a los cultivos de ciclo corto que son capaces de producir antes de que el déficit hídrico se acentue.

2. Tolerancia a la sequía manteniendo alto potencial en los tejidos.

Un término homólogo es que el Levitt (1972, citado por Sullivan y Eastin, 1979) define como evasión a la sequía aunque aquí se aclara que las plantas con estos mecanismos no evitan la sequía, sino la deshidratación del tejido.

Los eventos que comprende ésta estrategia son:

A. Mantenimiento de la incorporación de agua.

I. Incremento de la masa radicular.

II. Aumento de la conductancia hidráulica.

B. Reducción de la pérdida de agua.

I. Reducción de la conductancia de la epidermis (cierre de estomas).

II. Disminución de la radiación incidente (producción de ceras, reorientación de la hoja con respecto a la luz.

III. Abatimiento de la superficie foliar.

3. Tolerancia a la sequía manteniendo bajo potencial hídrico en los tejidos.

Este término coincide con la denominación de Levitt (1972)

Los aspectos que abarca son:

A. Mantenimiento de la turgencia.

Acumulación de solutos.

B. Tolerancia a la desecación.

Resistencia protoplásmica.

Para los fines de la presente revisión se utilizarán los términos manejados por Levitt (1972), puesto que se encuentran más extendidos en la literatura revisada.

¿Que esquema se considera más adecuado para la selección de variedades sobresalientes?

Jordan y Monk (1980) resumieron los reportes para sorgo relacionados con varios mecanismos para evitar o tolerar la sequía, concluyendo que los mecanismos de evasión proveen de mayores oportunidades para mantener la producción dado que los mecanismos de tolerancia a menudo se asocian con pérdidas sustanciales en ésta.

Quinzenberry (1982) señala que el agrónomo tiene el papel de obtener la productividad máxima de los cultivos bajo stress hídrico; la supervivencia de la planta (biológicamente hablando) no necesariamente estará asociada con dicho criterio ya que la reducción del área foliar, depresión de la actividad metabólica, etc, puede ser la estrategia de supervivencia, lo cual sería de limitado valor práctico para el técnico.

Levitt (1972) considera que las plantas de cultivo rara vez toleran la sequía, de ahí que la mayoría de las características pueden ser colocadas en la categoría de evasión.

Muñoz (1980) reporta que la selección en base a la tolerancia a elevadas presiones osmóticas durante la germinación, así como a la desecación y a la marchitez permanente ha permitido integrar variedades resistentes a la sequía de una manera sencilla y práctica.

A su vez, Horton et al. (1974) comentan que la literatura indica que casi cualquier proceso de la planta puede ser cambiado por el stress hídrico si es severo y suficientemente largo por lo que es de poca utilidad catalogar todos los cambios metabólicos y fisiológicos observados bajo stress, siendo

más informativo diferenciar y determinar la secuencia del conjunto de eventos que se ponen en juego con respecto a su respuesta al stress hídrico.

Bajo ésta perspectiva algunos investigadores coinciden en que la falta de un método simple para medir la resistencia a la sequía ha limitado la investigación (Nour y Weibel, 1978).

Henzel (1975), por su parte establece que la selección de caracteres fisiológicos es práctica cuando son fácilmente medibles y el componente ambiental de variación puede ser minimizado (cámara de crecimiento).

Horton et al. (1974) enfatizan que los mejoradores deben encontrar técnicas adecuadas en términos de los procesos fisiológicos fundamentales para así evitar el riesgo de concentrarse solamente en una o dos pruebas sofisticadas.

Cabe señalar que la selección por fitomejoradores para resistencia a la sequía involucra dos aspectos importantes: 1) una alta heredabilidad de la característica deseada (Jordan y Miller, 1980) y 2) que la producción y la resistencia están controladas por entidades genéticas individuales y separadas. Ello requiere la identificación de atributos definidos de resistencia a la sequía y su transferencia a cultivos de alta productividad (Blum, 1974; Muñoz, 1980).

Respuesta Fisiológica al Stress Hídrico.

El propósito de ésta sección no es cubrir los numerosos aspectos que involucran las respuestas al stress hídrico sino solo comentar brevemente aquellas que por su sencillez de evaluación pudieran servir de forma práctica en programas de selección (o detección de variedades sobresalientes en cuanto a su respuesta al deficit de agua.

Ceras.

Parsons (1982) menciona que el mejoramiento de la resistencia a la sequía puede provenir de un aumento de la reflexión de la energía solar así como una disminución de permeabilidad cuticular lo que repercutiría en un aumento del potencial hídrico de las hojas.

Jordan y Sullivan (1981) indican que en sorgo, la presencia de cera es una característica que aumenta su resistencia a la sequía. Por otro lado, señalan que ella está controlada por un gen dominante BmBm y que se ha observado que su presencia confiere ventajas sobre el gen recesivo (bmbm) en medios con poca cantidad de agua.

Sanchez Díaz et al. (citados por Jordan et al. 1983) proponen que los filamentos de cera disminuyen la radiación neta al incrementar la reflectancia.

Blum (1972, citado por Jordan y Miller, 1981) sugiere que una capa de cera más densa asociada con el carácter BmBm disminuye la radiación neta al elevar la reflectancia y engrosa la capa limitante disminuyendo así la transpiración.

Jordan et al. (1983), en un estudio donde midieron la cera epicuticular a 30 híbridos en cinco condiciones distintas (espaciamiento, sequía) encontraron que existió cierta tendencia en condiciones de humedad, contrastando con un incremento de la misma cuando la estación de crecimiento fué calurosa y seca.

Lo anterior lo ejemplifican diciendo que en M35-1 el contenido de ceras se incrementó proporcionalmente cuando creció en condiciones de baja humedad. Concluyen indicando que la habilidad para acumular cera epicuticular bajo condiciones de stress parece tener una base genética y que existe la posibilidad de seleccionar genotipos sobre la base tanto de la cantidad absoluta de cera epicuticular como por su respuesta adaptativa.

Benetson et al. (1978) en un experimento con seis variedades de avena bajo condiciones de stress encontró que las variedades resistentes que tuvieron mayor concentración de cera epicuticular se asociaron, al analizarlas, con una proporción menor de alcanos y superior de ácidos grasos (libres y esterificados) con respecto a los controles que no sufrieron déficit de agua. Discute que algunas investigaciones muestran una

cercana relación entre la composición química y la estructura tridimensional de la cera.

La técnica generalmente utilizada por diversos autores es la que desarrollaron Ebercon, Blum y Jordan (1977) que consiste en una oxidación violenta de las ceras con una solución de dicromato de potasio acidificado, lo que genera una gradación en la intensidad del color producido por la reacción y que puede ser medido colorimétricamente determinando su concentración en una curva patrón.

Contenido Relativo de Agua.

Consiste en una medida del contenido hídrico de la hoja como un porcentaje del contenido hídrico de la misma en estado turgente. Para evaluarlo, la técnica consiste en extraer un número determinado de discos de hoja, obtener su peso fresco y ponerlos a flotar durante cuatro horas en agua destilada para obtener el peso turgente para finalmente secarlos al horno y estimar el valor por medio de:

$$\text{Contenido relativo de agua (CRA)} = \frac{\text{peso fresco} - \text{peso seco}}{\text{peso turgente} - \text{peso seco}}$$

Esta estimación nos permite medir el contenido de agua pérdida o retenida por la planta en un momento particular (Kramer, 1974).

Shaw y Laing (1966) comentan que el contenido relativo de agua provee de un medio de calibrar el stress hídrico o la tolerancia a la sequía de tal forma que puede ser útil para comparar experimentos conducidos bajo diferentes condiciones de stress. Laing (1965, citado por Shaw y Laing, 1966) en un experimento donde utilizó dos niveles de humedad del suelo (capacidad de campo y 32% de la capacidad de campo) con soya puntualizó que el máximo valor de CRA fué temprano en la mañana y menor al medio día para finalmente mostrar recuperación durante la noche. El desbalanceo de los valores de turgencia de la 13 a las 16 horas en el tratamiento de sequía evidencia

el efecto protector del cierre de los estomas cuando el stress se establece. Por último menciona que el cierre de los estomas ocurre con un valor del CRA entre 83 y 86% en condiciones de campo.

Las relaciones entre el contenido relativo de agua y el potencial hídrico de la hoja se han establecido. Ackerson (1977) apunta que los cambios de contenido relativo de agua por cada unidad que varía el potencial de la hoja son más grandes en algodón que en sorgo, con lo cual suiere que los cambios de potencial son más dependientes del estado hídrico en algodón que en sorgo ya que los potenciales de turgencia del segundo son generalmente mayores en magnitud.

Johnson y Brown (1977, citados por Quinzenberry, 1982) sugieren que quizá la medición del potencial de turgencia sería útil para medir la capacidad de la planta para mantener el balance hídrico y evitar los efectos detrimentales del stress hídrico en la productividad de los cultivos.

Un aspecto asociado al contenido relativo de agua lo es el déficit de saturación de agua (DSA) o déficit hídrico, el cual se determina con la fórmula siguiente:

$$DSA = \frac{\text{peso turgente} - \text{peso fresco}}{\text{peso turgente} - \text{peso seco}}$$

Kramer (1974) señala que el contenido relativo de agua y el DSA son complementarios: $CRA = 100 - DSA$

Se ha establecido que aunque las mediciones de potencial hídrico pueden indicar evasión de la deshidratación esto es sólo en forma cualitativa y no siempre, dado que un cambio de este puede darse aún en ausencia de deshidratación. De ahí que una medida cuantitativa de la evasión de la deshidratación requiere de las mediciones del contenido de agua.

El DSA se considera como una medición de la tolerancia a la deshidratación, por tanto este valor permanece constante durante la sequía en unas plantas y en otras se incrementa marcadamente, ello revela mayor evasión a la sequía en el primero (Levitt, 1980).

Levitt (1972, citado por Blum, 1974) por su parte indicó que un incremento relativamente pequeño en el DSA por cada unidad disminuida en el potencial de la hoja es una medida de la evasión a la deshidratación y la evasión total a la sequía se relaciona a la evasión de bajos potenciales hídricos de la hoja cuando se eleva el stress hídrico del suelo.

Blum (1974) midió el DSA en sorgo en condiciones de sequía encontrando que con un aumento inicial de este el potencial de la hoja disminuyó apreciablemente a causa de la reducción del potencial de turgencia y que al encontrarse cercano a cero, los incrementos subsecuentes del DSA se realizaron con muy poco cambio en el potencial de la hoja. Se estimó, finalmente que el incremento exponencial del DSA representó un estrecho intervalo de potencial de la hoja donde la turgencia se pierde parcial o totalmente; lo que correspondió con el cierre estomático entre -14 a -16 barios.

Sanchez Días y Kramer (1971) revelan que en maíz con baja disponibilidad de agua se obtuvieron valores del potencial de la hoja de hasta -12.8 barios con un DSA de 45%. Para el caso de sorgo reportan -15.7 barios y 29% respectivamente. Además, concluyen que la poca pérdida de agua del sorgo frente a una disminución del potencial hídrico de la hoja es una característica asociada con resistencia a sequía. Los valores de potencial hídrico de la hoja anotados corresponden al punto donde se interrumpió la transpiración.

Transpiración.

Davies y Mansfield (1978) indican que la respuesta rápida de los estomas a factores del ambiente aéreo constituyen los primeros mecanismos de evasión al stress o primera línea de defensa para evitar el stress hídrico, el cual es más grave cuando el suelo tiene poca agua disponible. Pallas et al. (1967) considera a la humedad del suelo como un factor determinante en la transpiración puesto que el déficit hídrico tiende a causar cierre estomatal independientemente de la iluminación.

Dentro del mismo aspecto, Rodríguez O. (1977) al evaluar la transpiración de sorgo estima que es afectada por factores ambientales como la humedad relativa y el contenido de agua del suelo.

Sullivan (1972, citado por Sullivan y Eastin, 1974) obtuvo resultados en el sentido de que los estomas de sorgo se cierran cuando son expuestos a stress hídrico por vez primera pero no lo hacen totalmente cuando se exponen a este en forma alternada (sequía-riego-sequía...).

Glover (1959 citado por Wong, 1979) halló a los estomas de sorgo ligeramente abiertos durante todo el día cuando permanecieron en condiciones de deficiencia de humedad.

Turner y Begg (1973) mostraron que el cierre de estomas fué evidente a -20 barios (potencial de turgencia igual a cero) en sorgo.

McCree (1974), al medir el cierre de estomas en cámara de crecimiento observa que éstos tienden a hacerlo a potenciales altos (entre -13.5 a -21 barios) y estiman que si estos datos fueran válidos, las plantas en un campo bien regado se mantendrían cerrados todo el día dado que potenciales en el rango de -15 a -25 barios son comunes. A su vez señala que las plantas que se sometieron a periodos alternos de riego-sequía se volvieron menos sensibles demostrando así que los estomas pueden modificarse en una u otra dirección lo cual explica las diferencias entre cámara de crecimiento y material crecido en el campo.

Muñoz (1980) considera que la hipersensibilidad estomática evita la rápida deshidratación y por ello ubica esta característica dentro de los mecanismos de evasión.

Rodríguez O. (1977) muestra que el maíz tiene mayor transpiración que el sorgo debido principalmente a que el sorgo tiene menor área foliar, sin embargo, la transpiración por unidad de área fué mayor en sorgo que en maíz.

Blum (1970) establece que el sorgo posee la capacidad de mantener una condición relativamente alta de agua en las hojas

y una tasa transpiratoria superior al incrementarse la tensión hídrica en comparación con el maíz.

Teare et al. (1973) al investigar la eficiencia de uso de agua (EUA = materia seca producida/cantidad de agua evapo -- transpirada) sostiene que aunque el potencial de evapotranspiración del sorgo es mayor que el de la soya durante periodos de elevada radiación; la EUA del primero es tres veces la de la segunda lo cual se refleja en el agua disponible en el suelo siendo más elevada en sorgo que en soya.

Frecuencia Estomática.

Con respecto al número de estomas por unidad de área foliar los autores no siempre coinciden en las frecuencias obtenidas, tal vez por las variaciones que se encuentran aún en un mismo individuo.

Teare y Kanemasu (1972) en sus trabajos con maíz detectaron que el número de estomas disminuye de las hojas superiores hacia las inferiores así como del ápice hacia la base de las hojas.

Gupta (1961) determinó en cinco especies de solanaceas que el mínimo de área requerida para que los valores del conteo de estomas fueran poco variables fué de 0.4 mm^2 y que cinco lecturas por hoja daban un promedio consistente, siendo en la región central entre la vena principal y el margen de la hoja donde estuvieron más uniformemente distribuidos. Además observó que el número de estomas por mm^2 de la epidermis inferior es inversamente proporcional al área de la lamina y multiplicando este valor por el área de la lámina se obtuvo el número estomatal absoluto, lo cual fué más o menos similar en las hojas excepto en aquellas en donde los estomas aún no se habían diferenciado.

Miller (1968, citado por Teare et al. 1971) ha establecido que el número de estomas por unidad de área foliar es influido por las condiciones del medio. Además, Landi (1968, citado por Sevilla, 1983) encontró apreciables diferencias entre

variedades diversas de sorgo y maíz reportando 211 mm² y 120 estomas para la superficie abaxial respectivamente.

Se ha estimado que los estomas de algunas razas de maíz están más uniformemente distribuidas en la epidermis inferior y en la región media entre la vena principal y el margen de la hoja. La frecuencia media oscilo entre 47 y 61 estomas/mm² en la superficie abaxial (Alfaro y Kohashi, 1976).

McCree y Davies (1974) examinaron el efecto de la reducción del área foliar a causa del stress hídrico sobre el número de estomas y comentan que si dicha condición no afecta la diferenciación de los estomas entonces al disminuir la superficie de la hoja, el número de estomas por unidad de área debería incrementarse al quedar el mismo número en un área más reducida. Reportan a su vez, que la superficie abaxial de sorgo fluctua entre 90 y 140 aproximadamente.

Evaluación de la Resistencia a la Sequía.

Un criterio para caracterizar las variedades con mecanismos de resistencia es la baja frecuencia estomática.

Alfaro y Kohashi (1976) encontraron que de cuatro razas de maíz estudiadas, la denominada "apachito" presentó el número más pequeño de estomas y plantean la interrogante de si pudiese ser un maíz tolerante a la sequía ya que Dobrenz et al. (1969, citado por los autores) así lo determinó con varias líneas de Panicum antidotale.

Miskin y Rasmusson (1970) trabajando con Hordeum vulgare observó correlación entre la baja frecuencia estomática y baja transpiración debida a una alta resistencia estomática.

Dentro de los primeros métodos para medir la resistencia a la sequía se encontraba el de dejar de regar un lote de plantas por un tiempo arbitrario (dos semanas) y ver posteriormente el porcentaje de sobrevivencia (Levitt, 1980).

Muñoz (1980) ha estudiado el criterio de tolerancia a la marchitez permanente sometiendo plántulas de maíz a condiciones de marchitez permanente por periodos de diez días, al fi-

nal de los cuales se aplicó un riego de recuperación, sobreviviendo hasta el 5% del total.

Rivera (1965) utilizó bajo el esquema de riego-sequía una técnica similar a la de Muñoz (op cit.) sólo que después de cinco días de mantener las plántulas en pmp aplicó un riego a capacidad de campo para cortar, 48 horas después, la porción aérea (35 días después de la emergencia) y así pesarlos inmediatamente volviendo a medir cada 24 horas durante 5 días.

En otro experimento aplicó el mismo procedimiento sólo que en este caso extrajo únicamente una hoja de cada planta para evaluar la disminución de su peso a lo largo de 9 días la cual alcanzó un peso constante. Dentro de las conclusiones obtenidas afirmó que existieron diferencias a la desecación entre las variedades estudiadas, además aquellas colocadas en condiciones de sequía (vástago cortado ú hoja) presentaron mayor resistencia al desecamiento que cuando provinieron de plantas desarrolladas en condiciones óptimas de humedad.

Muñoz (1980) menciona que ésta técnica guarda estrecha relación con la tolerancia a la sequía de plantas adultas en condiciones de campo.

Este método de vástagos cortados presenta otra modalidad que consiste en que una vez desprendida la hoja (o parte de ella) se pesa al momento y después de unos cuantos minutos se vuelve a pesar. Kramer (1974) menciona que al desprender la hoja se libera de la tensión que existe en el xilema produciéndose un incremento temporal de la transpiración causada por un aumento temporal de la apertura estomatal. Asimismo, señala que no puede esperar que los coeficientes de transpiración medidos en tales condiciones sean similares a las hojas unidas a sus plantas, pero indica también que Ringoet (1952) encontró que a pesar de sus defecto podía seguir acertadamente el curso diario de la transpiración de varias especies con este método.

Salim (1969) planteó que las determinaciones de la pérdida de agua en plantas intactas o cortadas se ha sugerido como una prueba de selección para resistencia a sequía.

Raíces.

El desarrollo radicular y la cantidad de absorción de agua por la planta del suelo se hallan muy relacionados, dado que un sistema radicular bien desarrollado incrementa la eficiencia de absorción confiriendo una relativa resistencia a la sequía (Quinzenberry, 1982).

Rodríguez Peña (1969) refiere que en los períodos iniciales del desarrollo vegetal sólo se presenta una raíz pequeña con unas cuantas raíces laterales por lo que algunas plantas desarrollan rápidamente un buen sistema radical que ocupa un volumen considerable de suelo. Menciona además que si el suelo se haya a capacidad de campo, las raíces se ponen en contacto con la humedad aprovechable a bajas tensiones para reemplazar el agua que se pierde por transpiración a través de las hojas.

Roussell (1950 citado por Rodríguez Peña, 1969) indica que un impedimento mecánico, la baja permeabilidad, un drenaje pobre o una aereación deficiente son responsables de un sistema radicular superficial.

Bhan et al. (1973) en un estudio donde evaluaron el desarrollo de las raíces de ocho líneas de sorgo bajo condiciones de sequía a los 40 días de crecimiento y en la cosecha, reportaron una mayor penetración de 14.9 y 6.0 cm respectivamente de las líneas resistentes y susceptibles. Una situación similar se presentó en lo que respecta a peso y número de raíces primarias y secundarias. Asimismo encontraron correlación significativa entre:

- Número de raíces primarias con peso del vástago y madurez
- Emergencia de la mazorca con peso radical y madurez.
- Peso de la raíz con número de raíces primarias y secundarias y razón raíz/vástago.

Nour y Weibel (1978) en un experimento donde probaron 10 variedades de sorgo en hidropónia comentan que un alto volúmen radicular es indicativo de la capacidad para permear un gran volúmen de suelo lo que implica un mayor potencial de recolección de agua para crecimiento y supervivencia.

Con respecto al peso radical y a la razón raíz/ápice se determinó que las variedades reportadas como resistentes a sequía (M35-1, C42 y C42c) tuvieron los valores más grandes. Por último, en cuanto a la medición de la longitud observaron que hubo poca variación, probablemente causada por la insuficiente profundidad de los recipientes que limitaron la expresión total del carácter.

Blum (1970) trabajando con sorgo encontró que uno de madurez media utiliza el agua más rápido que uno de madurez temprana atribuyendolo a diferencias en el crecimiento radicular.

Blum et al. (1977) emplearon tubos de PVC de 90 cm de profundidad por 10 cm de diámetro para estudiar un sorgo de ciclo corto (605M) y otro tardío (100M) y establecen que se genera un mayor volúmen radicular en el genotipo de madurez tardío en condiciones de stress hídrico. Señalan que una gran proporción de la actividad y concentración del sistema radical se localiza en los primeros 30 cm y que la absorción mineral es rara debajo de los 90 cm con respecto a la apreciable absorción de agua a 180 cm.

Berotto (1974) al investigar la producción de materia seca de trigo en función de su tiempo a la madurez encontró que los tardíos produjeron más que los intermedios y éstos a su vez lograron mayor acumulación que los precoces.

La capacidad de crecimiento sostenido de las raíces en condiciones de sequía se ha atribuido a la habilidad de la planta de acumular solutos en los puntos de crecimiento lo que crea una "demanda" de agua al alcanzar valores de potencial osmótico muy elevados provocando la transferencia de agua de partes con mayor energía libre (ajuste osmótico). Ello permite la exploración de grandes volúmenes de suelo donde la dis-

ponibilidad de agua es mayor (ie. potencial hídrico más alto) Jordan y Miller, 1980).

Se ha sugerido que la evaluación del sistema radicular en el campo podría ser un procedimiento para determinar diferencias entre cultivares, aunque su determinación es difícil (Nour Y Weibel, 1978).

Razón Vástago/Raíz.

Rappaport y Sachs (1976) afirman que la porción aérea de la planta depende de sus raíces para anclaje y suministro de agua y nutrientes inorgánicos; aunque por su parte el sistema radical para crecer depende del vástago para su nutrición orgánica. Adicionalmente, las raíces sintetizan factores hormonales que regulan el alargamiento del tallo, la iniciación floral y la apertura estomática. Así mismo mencionan la interdependencia de vástago y raíces es completa (competición, estimulación, inhibición) y debe ser enfatizada.

Rojas (1980) señala que si se modifica la relación tallo-raíz se afectará también el equilibrio hídrico de la planta. Lo anterior lo ejemplifica al mencionar que un alto contenido de nitrógeno en el suelo tiende a hacer crecer al tallo significativamente, mientras que la falta de humedad estimula el crecimiento radicular.

Ballesteros (1983) informa que el cálculo de la relaciones entre el peso seco acumulado de la parte aérea y del sistema radical es una medida de la distribución del peso seco en la planta, además, las condiciones ecológicas pueden cambiar considerablemente dicha razón.

Se acepta generalmente que una buena humedad en el suelo genera una ganancia relativamente más grande en el peso seco del vástago que en raíces, encontrándose una relación inversa en suelos con baja humedad.

Rappaport y Sachs (1976) apuntan que los vástagos jóvenes son mejores competidores que los primordios de las raíces ante reservas limitadas.

Nour y Weibel (1978) manejan dicha razón a la inversa (R/V) y consideran que los cultivares resistentes a sequía tienen altas proporciones raíz-ápice.

Crecimiento Foliar.

McCree (1974a) indicó que el stress hídrico afecta la velocidad de crecimiento de la planta, al menos de dos formas: 1) el ritmo de incremento del área foliar disminuye por la pérdida de turgencia; 2) la fotosíntesis se interrumpe por el cierre de estomas.

En un experimento con sorgo donde probaron el efecto de tres ambientes: 1. húmedo, caliente y buena humeda del suelo; 2. seco y caliente; 3. seco y caliente alternando cinco ciclos de sequía con riego; reportaron que el tratamiento donde se presentó disminución del agua disponible se generó la menor área foliar (0.09 m^2) no encontrando diferencias en los otros dos tratamientos con 0.2 m^2 .

La presión de turgencia celular y por ende un estado hídrico favorable de las plantas es importante para el crecimiento por expansión celular (Heyn, 1940 citado por Shaw y Laing, 1966).

Hsiao et al. (1970) desarrollaron un aparato para medir minuto a minuto el crecimiento de las hojas de monocotiledóneas y observaron una dependencia extrema del crecimiento y el estado hídrico de la planta. Además, la elongación se reduce grandemente con una disminución del potencial hídrico de la hoja de -3 a -4 barios y se detiene totalmente a -6.5 barios sin presentar síntomas de marchitez. Sin embargo, describen que el crecimiento se recuperó al agregar agua casi instantáneamente con una rápida elongación transitoria que cambió a una velocidad lenta y estable varios minutos más tarde. Por último discuten que si se asume que el crecimiento es el producto de la elasticidad y la presión de turgencia, el incremento rápido inicial nos indica que durante el deficit hídrico se sintetizaron una serie de metabolitos necesarios para el crecimiento. Además, enfatizan que la importancia de la rápida res

puesta en la elongación, evidencia el papel esencial del agua en proveer la fuerza impulsora para la elongación celular.

Horton et al. (1974) comentan que el crecimiento es extremadamente susceptible al stress hídrico ligero y que la respuesta es demasiado rápida para que el efecto sea mediado por cambios metabólicos, de ahí que al rehumedecer un suelo que presente una pequeña deficiencia de agua traerá como consecuencia un incremento casi instantáneo de la turgencia de las células de las hojas. Lo anterior sugiere a los autores que quizás una de las formas más fáciles para seleccionar plantas resistentes a sequía sería determinar la capacidad de la planta para mantener crecimiento expansivo ante potenciales hídricos de los tejidos reducidos. Estiman que la prueba podría ser bastante simple dado que las hojas jóvenes de muchas especies crecen lo suficientemente rápido que puede ser medido el crecimiento durante una fracción del día simplemente con una regla. Finalmente observan que a causa de extremada sensibilidad de la expansión celular, el aumento de área foliar está restringido a la noche que es cuando el estado hídrico de la hoja es más favorable.

Hsiao (1973) divide el agua de la planta en libre (circulante) y de hidratación (mátrica, molecular) y considera que una disminución de 15 barios corresponde aproximadamente a una pérdida hídrica del 30% en sus tejidos lo que, en su opinión, no involucra agua de hidratación por lo que tal deficit no acarreará alteraciones graves a nivel molecular.

McCree (1974b) concluye que la inhibición de la elongación no es el principal factor responsable en la disminución del área foliar bajo stress hídrico sino que contribuye de manera importante en la interrupción de la división celular.)

La falta de herramientas de diagnóstico que permitan evaluar de manera integrada un conjunto de parámetros fisiológicos en cuanto a su respuesta al deficit de agua en el suelo es evidente.

Es notorio que dentro de la información disponible se evalúan en forma aislada las diversas respuestas fisiológicas de la planta frente al stress hídrico. Ello es, en nuestra opinión sólo una visión fragmentaria del comportamiento de la planta.

Creemos que la evaluación de un conjunto de parámetros fisiológicos permitiría obtener una caracterización integral de las respuestas de los cultivos ante un deficit de agua.

OBJETIVO: Estudiar los efectos de un régimen de riego y sequía sobre el contenido de ceras, distribución radicular, razón vástago/raíz, transpiración, frecuencia estomática, contenido relativo de agua y crecimiento foliar en tres variedades de sorgo (Sorghum bicolor - L. Moench).

MATERIAL Y METODOS

Material Biológico.

Las variedades de sorgo, cuyas características se describen a continuación, las proporcionó el M. en C. Enrique Romo Calderón, investigador del programa de sorgo del Campo Agrícola Experimental "Valle de México", C.I.A.M.E.C., I.N.I.A.

Cuadro 1. Características de las variedades utilizadas.
(Romo, 1984).

	RB20-20	Valles Altos 110	M35-1
Ciclo vegetativo.	109 días a floración.	80 días a floración.	120 días a floración.
Color del grano.	Rosado	café obscuro.	blanco
Altura de la planta.	?	80 - 132 cm	200 cm
Excursión.	15 - 25 cm	2 - 15 cm	?
Tipo y longitud de panoja.	semiabierta 13.5 - 22cm	semiabierta ?	semiabierta ?
Rendimiento.	Río Bravo	Chapingo	Africana
Origen.	Tamaulipas		

Determinación del porcentaje de humedad a capacidad de campo y en el punto de marchitamiento permanente.

Se estimó el valor de la humedad del suelo a capacidad de campo en base al método de las columnas (Aguilera y Martínez, 1980); se realizaron seis determinaciones para calcularlo de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$CC = PsCC = \frac{Psh - Pss}{Pss} \times 100$$

donde: CC es capacidad de campo.

PsCC es el porcentaje de humedad a capacidad de campo.

Psh es el peso del suelo humedo.

Pss es el peso del suelo seco

El valor del porcentaje de humedad en el punto de marchitamiento permanente se obtuvo dividiendo el PsCC entre 2.2 (Torres, 1983).

Sabiendo que el agua aprovechable para la planta se encuentra entre el punto de marchitamiento permanente (PMP) y la capacidad de campo, se determinó el 15% de humedad aprovechable como el valor a que se ajustaron los tratamientos de sequía. (S.C.S., 1972).

Ajuste de humedad del suelo de las macetas.

Se preparó suelo en partes iguales de lama y arena de río. Después de esterilizarlo y tamizarlo se ajustaron los pesos de las macetas (bolsas de 30 X 10 cm) a 2758 gr. y regaron a saturación. Al cabo de 24 horas se sembró, asumiendo que el suelo se hallaba a capacidad de campo (Aguilera y Martinez, 1980).

Se separó un lote de bolsas para estimar el peso promedio a que se deberían ajustar ambos tratamientos cuando por efecto de la evapotranspiración éste disminuyera.

Las plantas se mantuvieron en condiciones de invernadero el tiempo que duró la investigación (Depto. de Fitotecnia de la Universidad Autónoma de Chapinco). Fueron fertilizados con una fórmula de 80-80-40 partes de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente. Se aplicó tamarón (2 ml/lt.) cuando así se requirió, para el control de insectos.

Se utilizaron 20 plantas por tratamiento obteniéndose un total de 120.

Al cabo de un mes de mantener todas las plantas a CC se dejó de regar el lote destinado a sequía tomando el peso cada tercer día para determinar el momento en que llegaran al valor calculado como 15% de humedad aprovechable y así se mantuvo durante 15 días para después realizar las evaluaciones que

se mencionan a continuación.

Ceras.

Se determinaron de acuerdo al método de Ebercon y Blum (1977) que consistió en la inmersión de 15 discos con un área total de 30 cm^2 (en ambas superficies) en 15 ml de cloroformo durante 15 segundos. Después de evaporarlo en baño de María se midió en un espectrofotómetro (Spectronic 20) a 590 nm el cambio de color producido al reaccionar la cera con dicromato de potasio acidificado (20/lt de H_2SO_4 conc.). Mayor cantidad de cera produjo mayor intensidad de color. La concentración se obtuvo por extrapolación en una curva patrón preparada con Polietilenglicol 3000 con un intervalo de 1 a 5 mg. En la ordenada se graficó la absorbancia y en la abscisa la concentración.

Traspiración.

Se utilizó el método de vástagos cortados, también llamado método de peso rápido (Kramer, 1974), que consistió en desprender la porción media de la hoja No. 5 de la base al ápice) y registrar el peso con una precisión de 0.00001 gr. Transcurridos 50 minutos se pesó nuevamente para determinar posteriormente el área con un integrador de área foliar (Portable Area Meter; Model LI 30000 Lambda Instruments Corporation) y se realizó la conversión a mg de agua transpirada por centímetro cuadrado de hoja por hora.

Frecuencia Estomática.

Se empleó el método de réplica para obtener impresiones de la superficie foliar (Sevilla, 1983), el cual consistió en colocar una gota de penamento instantáneo Krazi Kolaloka sobre un portaobjetos para después presionar la superficie abaxial de la hoja a la altura de la porción media durante aproximadamente 5 minutos. Al separar la hoja del portaobjetos permaneció en éste último una réplica de la epidermis. Los

conteos se realizaron con 125 aumentos en la porción central (entre el margen de la hoja y la vena principal. Se calculó, previa determinación del área del campo del microscopio (con reglilla y micrómetro ocular) el número de estomas por mm^2 . Se contaron cinco campos de microscopio por preparación.

Contenido Relativo de Agua.

La cuantificación consistió en tomar el peso fresco de diez discos foliares de 5 mm de diámetro que después se colocaron durante cuatro horas en agua destilada con el fin de obtener el peso turgente para finalmente secarlos al horno y registrar su peso. Para su cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido relativo de agua} = \frac{\text{peso fresco} - \text{peso seco}}{\text{peso turgente} - \text{peso seco}} \times 100$$

Raíces.

Con el objeto de evidenciar si la poca profundidad de las bolsas utilizadas (30 cm), limitaban la expresión total del carácter, se montó un experimento adicional con bolsas de 10 X 95 cm con los mismos tratamientos. Se midió la distribución en base a peso seco del sistema radicular evaluando cada 30 cm. Adicionalmente, se obtuvo la humedad del suelo en cada estrato, utilizando la misma fórmula mencionada para CC.

Razón Vástago/Raíz.

Se determinó con el peso seco de la porción aérea dividido entre el peso seco del sistema radical (Ballesteros, 1983).

Crecimiento Foliar.

Para realizar ésta medición se montó el dispositivo que se ilustra en la figura 1, con el cual fué posible tener un dato del crecimiento cada hora. Se registro el crecimiento de la hoja No. 5 (de la base hacia el ápice) (Meyer y Anderson, 1941).

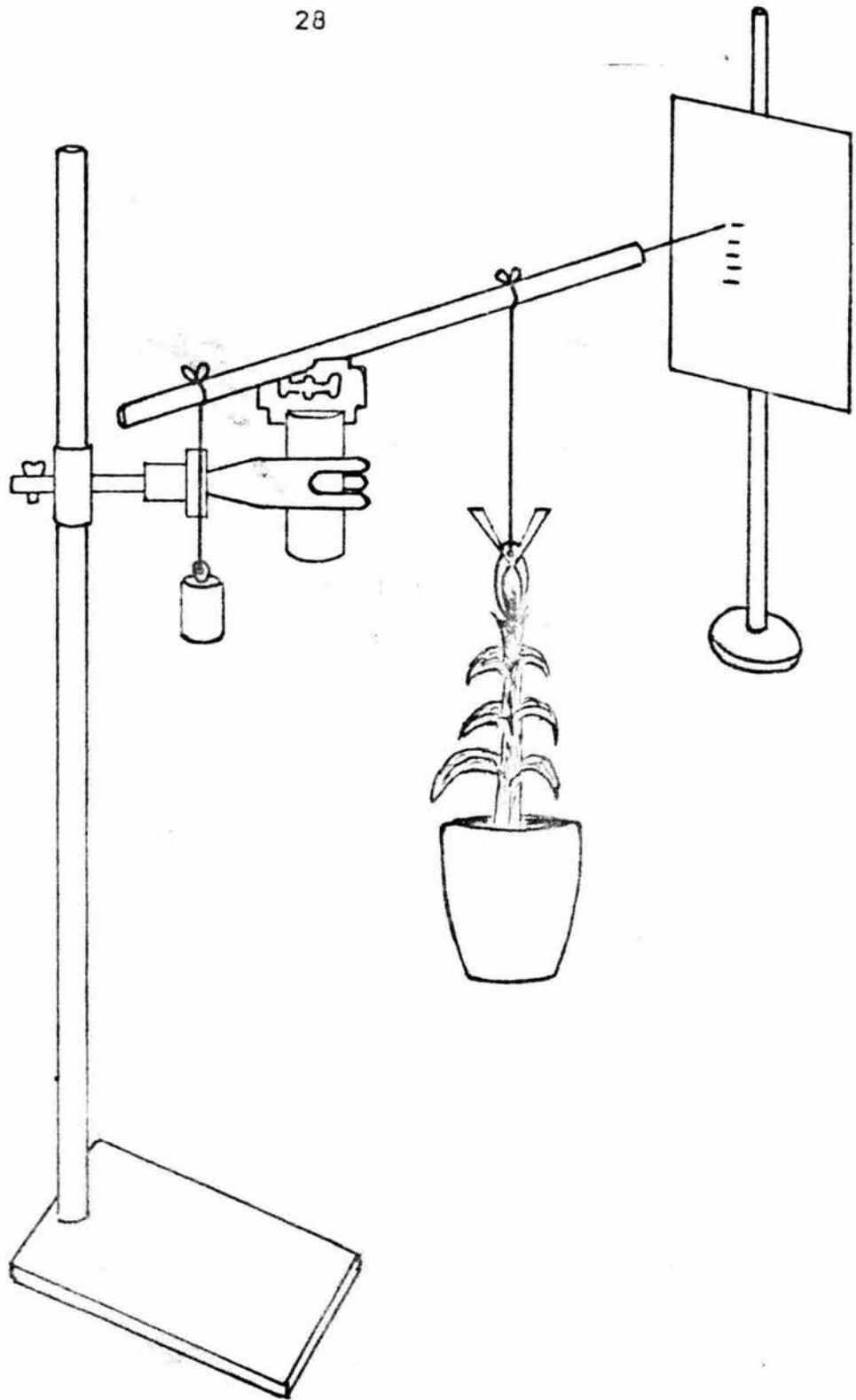


Figura 1. Dispositivo para medir los cambios en las hojas de plántulas de sorgo.

Secuencia de Ensayos en el Laboratorio.

Estas evaluaciones se realizaron tanto en los laboratorios de Fisiología Vegetal del Depto. de Fitotecnia de la U.A.Ch. como en la Escuela Nacional de Estudios Profesionales --- Iztacala de la U.N.A.M.

Dado el número de mediciones que se realizaron, se separaron dos lotes de diez plantas de cada tratamiento para estimar:

Lote I. Razón vástago/raíz.

Ceras.

Crecimiento foliar.

Lote II. Transpiración.

Frecuencia estomática.

Contenido relativo de agua.

RESULTADOS

Ceras.

En esta evaluación (figura 2) fué notorio el efecto de la sequía sobre M35-1 ya que el tratamiento de riego alcanzo' un 66.2% con respecto al contenido de ceras logrado en sequía, siendo también el valor más elevado de ceras en general.

VAR resultó un 78.7% inferior comparandolo con VAS. Por último, RB20-20 no reveló diferencias en base al análisis del error estandar. M35-1 mantiene de por sí, un estado de elevado contenido de ceras aún en riego, puesto que su contenido ceras es comparable incluso al más alto encontrado en las otras variedades.

En el análisis de varianza, las fuentes de variación riego, sequía y variedad no mostraron diferencias significativas mientras que en la interacción sí se presentó. (cuadro 2).

Contenido Relativo de Agua.

En la medida del contenido hídrico de la hoja (figura 3) se observó una tendencia general a mantener mayor cantidad de agua en el tratamiento de sequía siendo M35-1 quien contrasta más con respecto a éste parámetro ya que en riego apenas alcanzó un 61.8% del CRA en condiciones de sequía indicando, por consiguiente, una mayor habilidad para mantenerse turgente ante una baja disponibilidad de agua. VAR y RBR fueron un 15.27 y 14.28% inferiores a sus respectivos tratamientos de sequía.

En el análisis de varianza, se encontraron diferencias significativas para los factores utilizados así como en sus interacciones (cuadro 3).

Transpiración.

En la figura 4 se muestran claras diferencias siendo siempre mayor a medio día que en la tarde, tanto en riego como en sequía para las tres variedades.

Revisando por separado cada variedad, encontramos que a

medio día RB20-20 en riego fué 20% superior con respecto a sequía, seguido por VA-110 con 19,56% y M35-1 con sólo 3.2% de diferencia (figura 4).

De las tres variedades VA-110 fué la presentó la menor transpiración, aún en condiciones de riego.

En lo referente a la transpiración por la tarde, se conservó el patrón de mayor transpiración riego que en sequía en RB20-20 y VA-110 con una diferencia de 47.06 y 37.5% respectivamente. MR, por su parte, fué 11.1% inferior al compararlo con MS

En lo que respecta a frecuencia estomática, en la figura 5 se indica que en condiciones de sequía, el número de estomas por unidad de área se incrementó en las variedades VA-110 y M35-1. Entre RBR y RBS no se observaron diferencias.

VAR representó el 51.94% del número de estomas logrado en sequía. MR resultó 48.57% inferior que el tratamiento de sequía.

VA-110 en sequía duplicó su número de estomas en relación a las demás variedades. A su vez, el número de estomas conseguido con riego es comparable al de RBS y MS y superior s RBR y MR.

El análisis de varianza evidenció diferencias significativas para ambas variables de respuesta (transpiración a medio día, en la tarde y frecuencia estomática) en las fuentes de variación, riego-sequía, variedad y sus interacciones (cuadros 4,5 y 6).

Raíces.

A. Evaluación del Peso Seco del Sistema Radicular en Bolsas de 30 cm de Profundidad.

La estimación de éste caracter, no arrojó un comportamiento bien definido. VA-110 no registró diferencias entre riego y sequía, mientras que en M35-1 se obtuvo un 37.78% más de materia seca en riego que en sequía (figura 7). Por último RBS fué superior a RBR en un 27.83%.

Al hacer una comparación de todas las variedades en cuanto a su error estandar, no existen diferencias entre ninguna de ellas pues estos se traslapan mutuamente.

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas para ninguna de las fuentes de variación (cuadro 8).

Razón Vástago/Raíz.

Se observó que en todos los casos (figura 9) el tratamiento de riego estimuló significativamente el desarrollo de la porción aérea (tallo y hojas) pudiendose notar que la variedad más sobresaliente fué VA-110. Si comparamos RBS y MS, no se detectan diferencias (cuadro 9).

Curva de Crecimiento Foliar.

En las figuras 10, 11 y 12 se muestran las curvas de crecimiento foliar. Se puede observar que RB20-20 no presentó diferencias entre riego y sequía. VA-110 resultó superior a éste en ambas condiciones y tendió además a tener valores mayores con buena humedad a lo largo de todas las mediciones.

M35-1 fué el más uniforme (error estandar más pequeño) en su crecimiento aparte de que existió una diferencia evidente siendo mayor en riego que en sequía desde los primeros puntos y divergiendo notablemente en la última medición. Los resultados obtenidos de MR son equiparables a VAR y en la condición de sequía a RBR.

En todos los casos se presentó un incremento notorio del crecimiento en el intervalo de las 8 a las 9 de la noche siendo de hecho bajo el cual se acentuaron las diferencias entre riego y sequía en los tratamientos señalados.

Distribución de la Materia Seca de la Raíz en Función de la Profundidad.

Aquí se puede observar que existió una clara diferenciación en la distribución de la materia seca en las tres profundidades consideradas (figura 8) notándose en primer lugar que el desarrollo radicular fué significativamente mayor en sequía que en riego, encontrandose en el primero la mayor biomasa a

los 60 cm seguida de 30 y 90 cm con valores promedio de humedad del suelo de 10.38, 6.98 y 14.26% respectivamente (cuadros 11 y 12). Cabe hacer notar que entre RBS y MS no se presentaron diferencias en ninguno de los niveles; sin embargo VAS só lo fué similar a los 30 cm ya que a los 60 y 90 cm creció más sobre los anteriores.

En lo referente a los tratamientos con riego, VAR y RBR fueron 37.5 y 14.7% menores respectivamente que MR considerando la totalidad del peso seco en sus tres niveles. La única profundidad a la que MR fué comparable con las otras dos variedades fué a los 30 cm difiriendo significativamente en todos los demás niveles (figura 8).

La totalidad del peso del sistema radical de VAR alcanzó únicamente un 30% de la cantidad lograda en VAS. La humedad promedio del suelo con riego para todas las variedades fué de 10.01, 13.57 y 22.5% para 30, 60 y 90 cm respectivamente. Nótese que para ambas condiciones de humedad en el suelo, la mayor masa radicular se concentró a los 10.38% (sequía) y 10.01% (riego) (cuadros 11 y 12).

Cuadro 2. Análisis de varianza de concentración de ceras en relación a los parámetros: riego-sequía y variedad así como su respectiva interacción.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Sig. Estad.
VARIEDAD	2	1.286963	0.6438815	2.85	N.S.
RIEGO-SEQUIA	1	0.000565	0.000565	0.0025	N.S.
INTERACCION	2		2.459902	10.91	*
ERROR	42	9.461718	0.225279		

Cuadro 3. Análisis de varianza de turgencia relativa en relación a los parámetros: riego-sequía y variedad, así como su respectiva interacción.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Sig. Estad.
VARIEDAD	2	0.008552	0.004276	9.49	*
RIEGO-SEQUIA	1	0.018494	0.018494	41.05	*
INTERACCION	2	0.004424	0.002212	4.91	*
ERROR	42	0.018921	0.0004505		

* Diferencia significativa $P = 0.05$

N.S. No existe diferencia significativa

Cuadro 4. Análisis de varianza de transpiración a las 12 del día en relación a los parámetros: riego-sequía y variedad, así como su respectiva interacción.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Sig. Estad.
VARIEDAD	2	7.3024196	3.6512098	32.22	*
RIEGO-SEQUIA	1	1.31411	1.31411	11.59	*
INTERACCION	2	0.65836	0.32918	2.90	N.S.
ERROR	24	2.71946	0.1133108		

Cuadro 5. Análisis de varianza de transpiración a las 6 de la tarde en relación a los parámetros: riego-sequía y variedad, así como su respectiva interacción.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Sin. Estad.
VARIEDAD	2	2.086896	1.043448	12.96	*
RIEGO-SEQUIA	1	0.641745	0.641745	7.97	*
INTERACCION	2	0.912525	0.4562625	5.66	*
ERROR	24	1.932502	0.0805209		

* Diferencia significativa $P = 0.05$

N.S. No existe diferencia significativa

Cuadro 6. Análisis de varianza de estomas en relación a los parámetros: riego-sequía y variedad, así como su respectiva interacción. Datos transformados a raíz cuadrada.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Sig. Estad.
VARIEDAD	2	22.996	11.498	58.36	*
RIEGO-SEQUIA	1	13.288	13.288	67.45	*
INTERACCION	2	5.933	2.967	15.06	*
ERROR	42	8.262	0.197		

Cuadro 7. Análisis de varianza de porción aérea en relación a los parámetros: riego-sequía y variedad, así como su respectiva interacción.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Sig. Estad.
VARIEDAD	2	2.937117	1.4685585	6.74	*
RIEGO-SEQUIA	1	5.187675	5.187675	23.82	*
INTERACCION	2	2.52285	1.261425	5.79	*
ERROR	42	9.148125	0.2178125		

* Diferencia significativa $P = 0.05$

Cuadro 8. Análisis de varianza de raíces en relación a los parámetros: riego-sequía y variedad, así como su respectiva interacción.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Sig. Estad.
VARIEDAD	2	0.216	0.108	0.864	N.S.
RIEGO-SEQUIA	1	0.008	0.008	0.064	N.S.
INTERACCION	2	0.555	0.278	2.224	N.S.
ERROR	42	5.27	0.125		

Cuadro 9. Análisis de varianza de vástago-raíz en relación a los parámetros: riego-sequía y variedad, así como su respectiva interacción.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Sig. Estad.
VARIEDAD	2	4.506961	2.253	49.79	*
RIEGO-SEQUIA	1	5.385737	5.385737	119.03	*
INTERACCION	2	0.140313	0.07	1.58	N.S.
ERROR	42	1.9003328	0.045246		

* Diferencia significativa $P = 0.05$

N.S. No existe diferencia significativa

Cuadro 10. Promedios y error estandard de las determinaciones realizadas en las tres variedades utilizadas tanto en riego como en sequía.

	RB20-20		VA110		M35-1	
	Riego	Sequía	Riego	Sequía	Riego	Sequía
Ceras (mg/30cm ² de hoja)	\bar{X} 0.8722	0.7781	0.7009	0.8925	0.8593	1.3046
	$S_{\bar{x}}$ 0.0859	0.106	0.027	0.043	0.062	0.1163
Raíces (gr)	\bar{X} 0.70	0.9725	0.925	0.775	0.9171	0.6012
	$S_{\bar{x}}$ 0.11	0.144	0.121	0.049	0.1932	0.057
Porción aerea (gr)	\bar{X} 0.7012	0.5757	1.7175	0.8675	1.495	0.3975
	$S_{\bar{x}}$ 0.088	0.0694	0.293	0.066	0.227	0.018
Razón vástago- raíz (gr/or)	\bar{X} 1.2766	0.7533	2.0731	1.2896	1.3992	0.6975
	$S_{\bar{x}}$ 0.049	0.069	0.082	0.099	0.082	0.059
Contenido rela- tivo de agua (%)	\bar{X} 92.66	95.19	92.78	95.52	87.96	94.46
	$S_{\bar{x}}$ 0.06	0.03	0.07	0.04	0.14	0.05
Transpiración Medio día (mg cm ⁻² hr ⁻¹)	\bar{X} 3.54	2.77	2.28	1.85	3.08	3.03
	$S_{\bar{x}}$ 0.1516	0.2236	0.1367	0.0618	0.0723	0.2236
Transpiración Tarde (mg cm ⁻² hr ⁻¹)	\bar{X} 1.66	0.922	0.793	0.544	0.777	0.889
	$S_{\bar{x}}$ 0.1581	0.1581	0.045	0.039	0.073	0.1581
Frecuencia estomática (#)	\bar{X} 9.7595	10.0887	10.351	12.356	9.439	10.261
	$S_{\bar{x}}$ 0.15	0.213	0.156	0.14	0.089	0.167

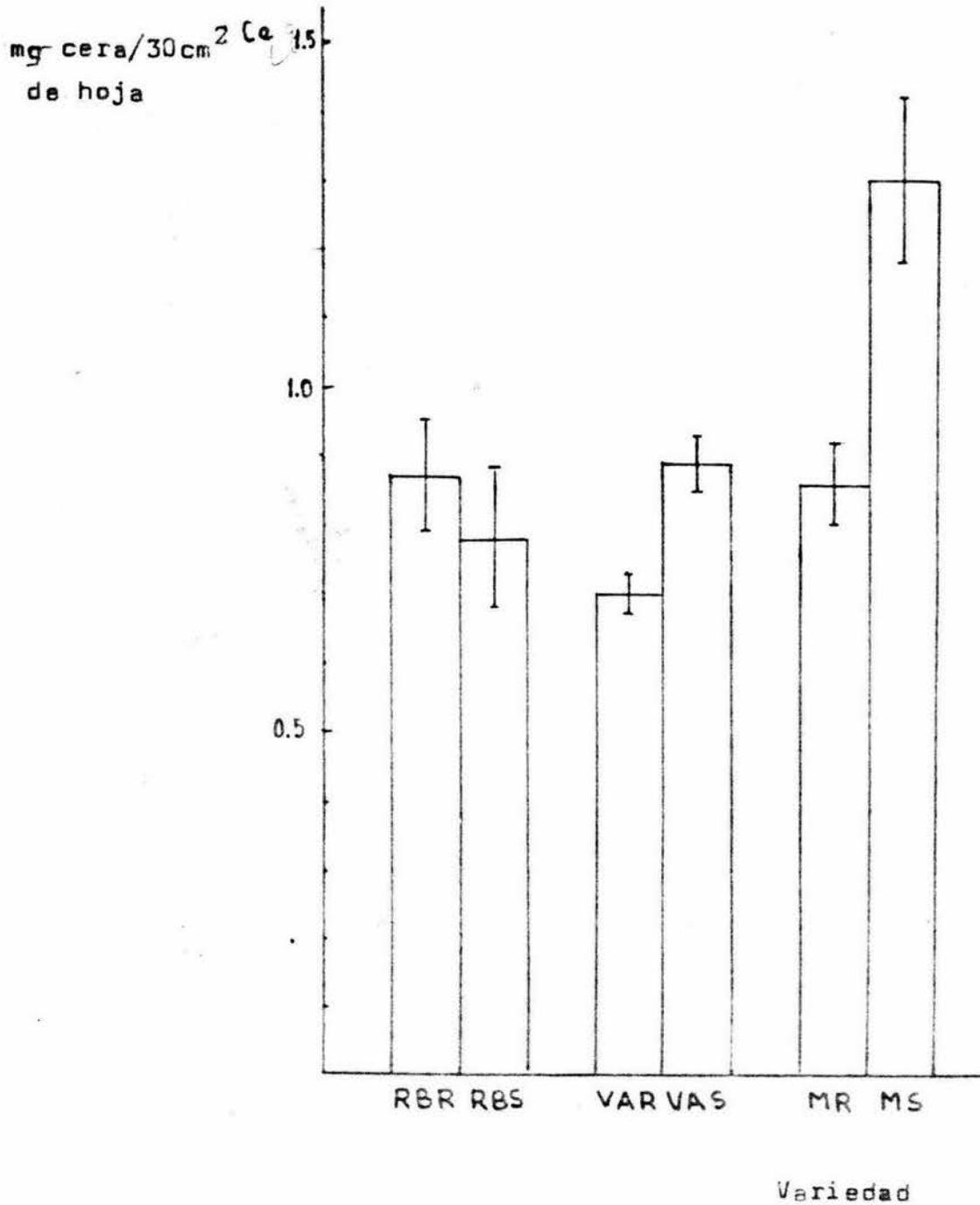


Figura 2. Efecto de la condición de riego y sequía sobre la concentración de ceras en sorgo. Cada punto es la media de 8 repeticiones \pm Error estandar.

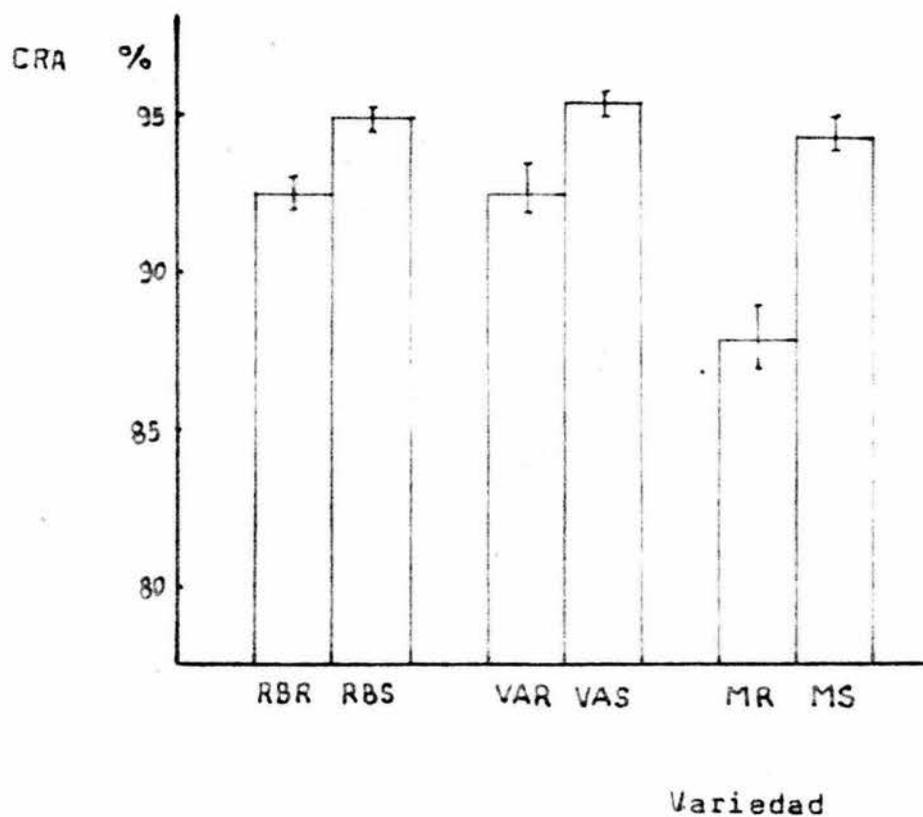


Figura 3. Efecto de la condición de riego y sequía sobre el contenido relativo de agua en sorno. Cada punto es la media de 8 repeticiones \pm Error estandar.

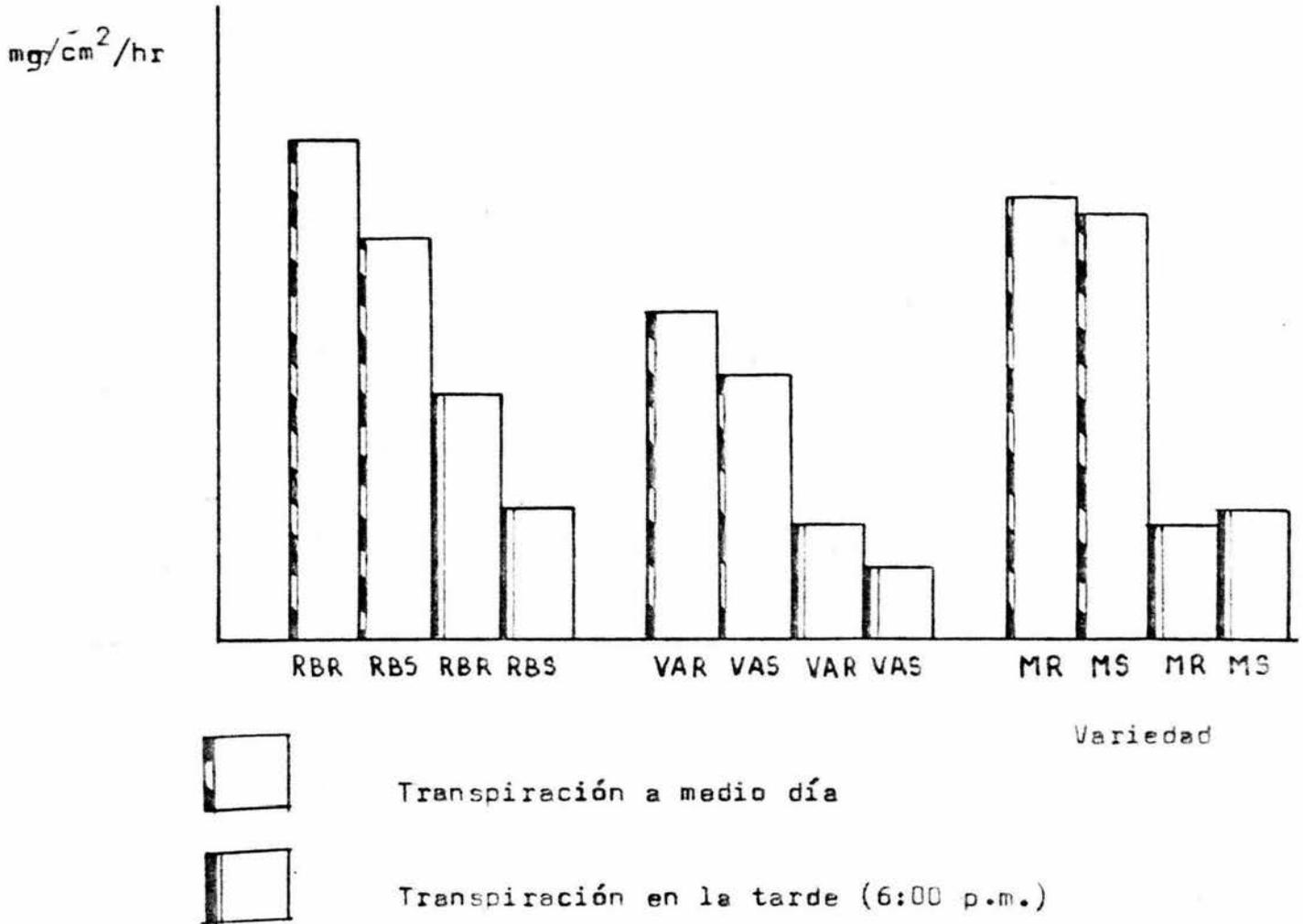


Figura 4. Efecto de la condición de riego y sequía sobre la transpiración de sorgo. Cada punto es la me dia de 5 repeticiones. El error estandar no se graficó en virtud de su pequeña magnitud que osciló entre 2.72×10^{-2} y 3.87×10^{-1}

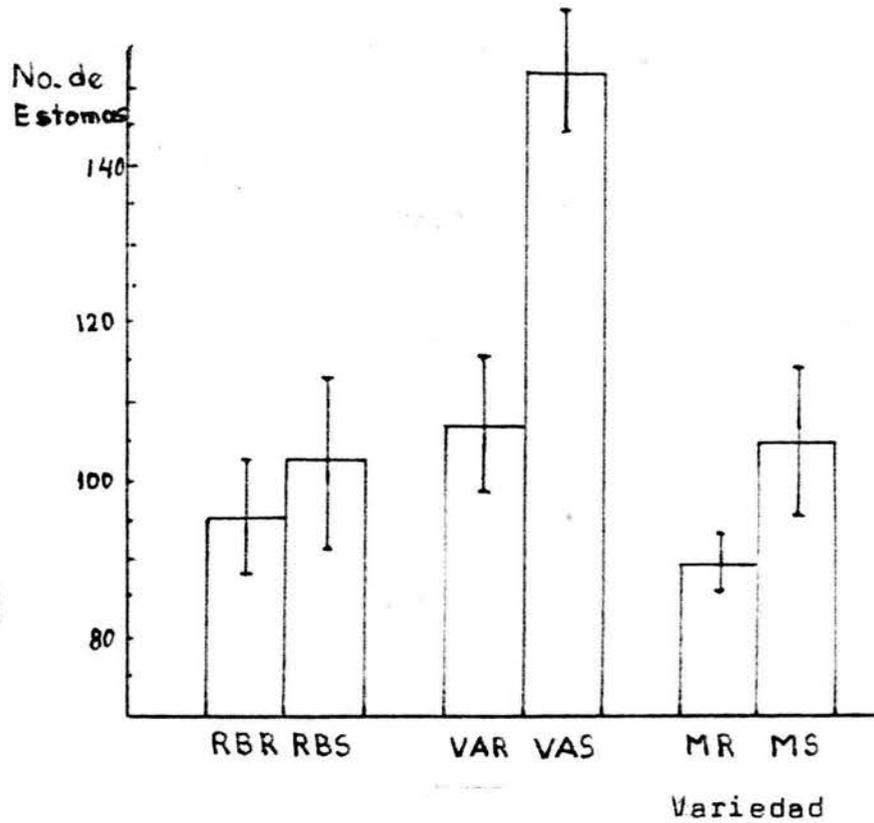


Figura 5. Efecto de la condición de riego y sequía sobre la frecuencia estomática en sorgo. Cada punto es la media de 8 ocho repeticiones \pm Error estándar.

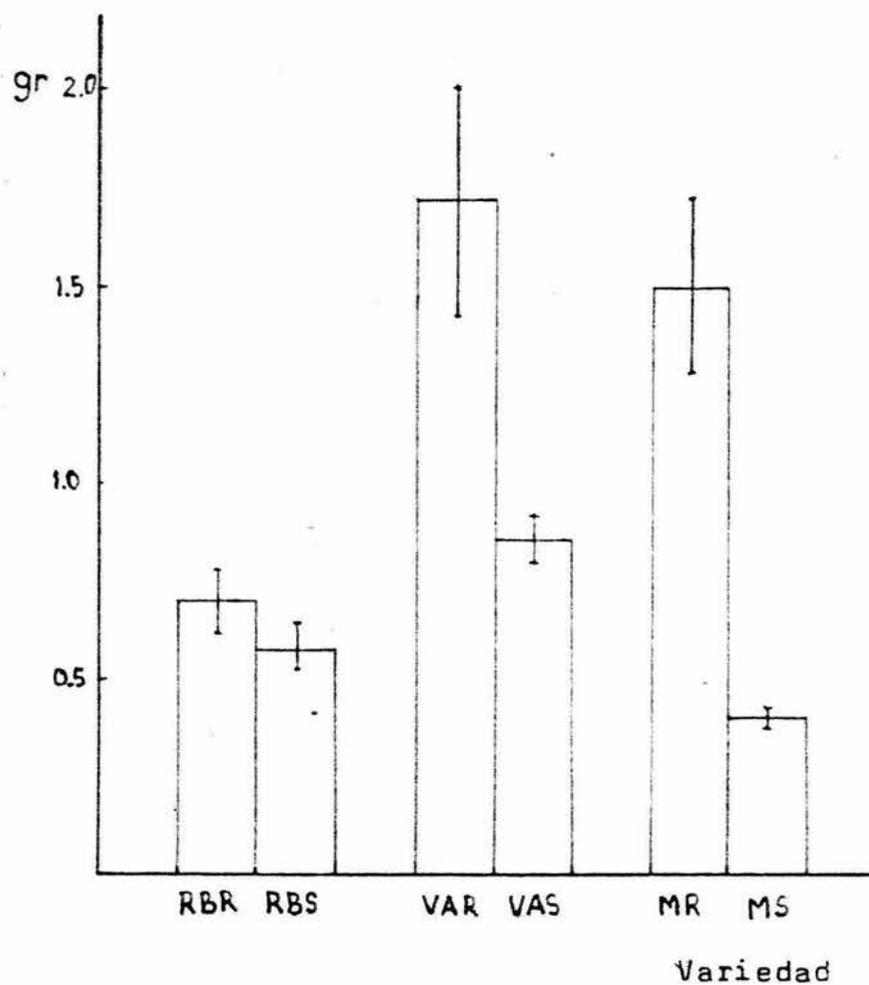


Figura 6. Efecto de la condición de riego y sequía sobre la acumulación de materia seca en la porción aérea (tallo y hojas). Cada punto es la media de 8 repeticiones \pm error estandar.

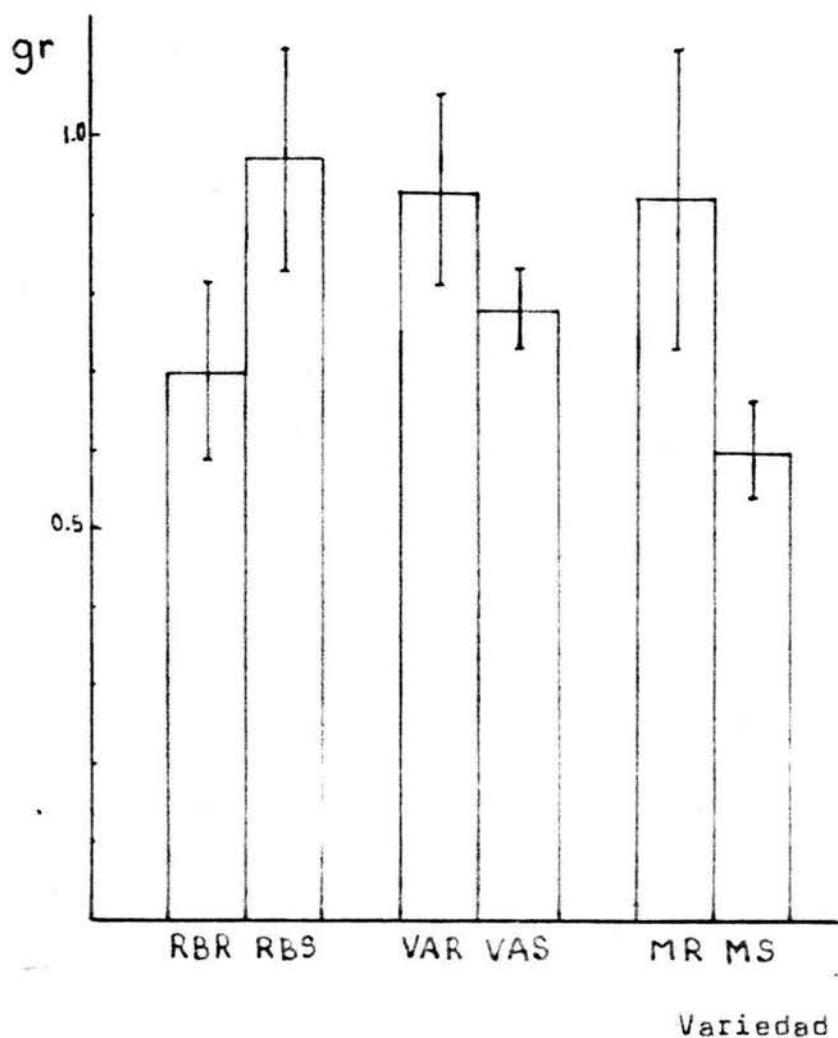


Figura 7. Efecto de la condición de riego y sequía sobre la acumulación de materia seca en las raíces de sorgo. Cada punto es la media de 8 repeticiones \pm error estándar.

	RBR	RBS	VAR	VAS	MR	MS	RIEGO %Humedad	SEQUIA %Humedad
30	44 *	32.75	54.54*	32.24	41.43	36.2	10.01	6.98
60	26	41.37*	22.72	42.46*	43.75*	41.03*	13.57	10.38
90	30	25.86	22.72	23.28	14.77	22.75	22.5	14.26

Cuadro. 11 Distribución porcentual del peso de las raíces y porcentaje de humedad promedio en tres niveles de profundidad

* Indica los casilleros donde se obtuvo la mayor masa radicular que se relaciona con la humedad de 10.01 a 30 cm y 10.38% en el estrato de 60 cm para sequía.

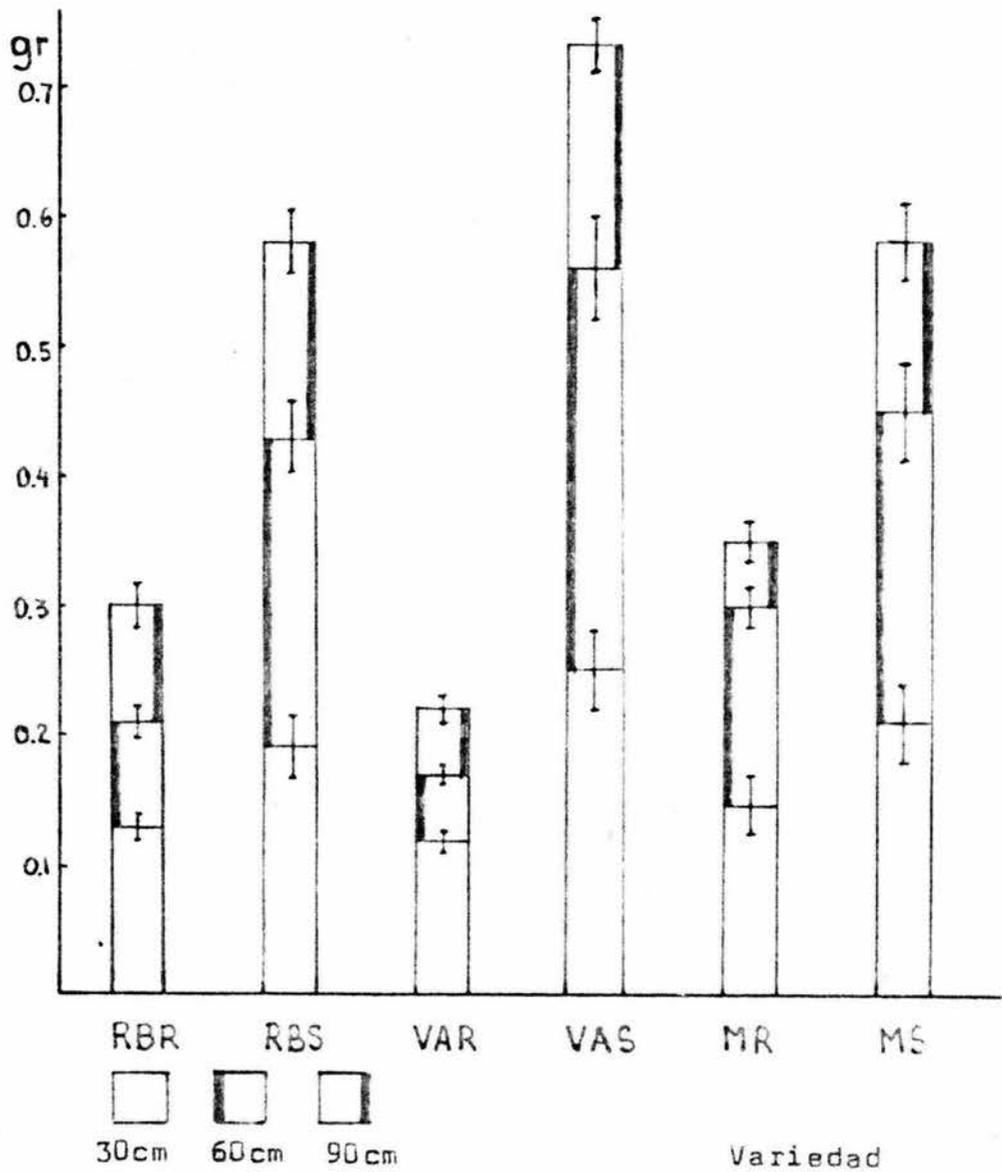


Figura 8. Efecto de la condición de riego y sequía sobre la distribución de la materia seca del sistema radicular en tres profundidades (30, 60 y 90 cm). Cada punto es la media de 10 repeticiones \pm error estandar.

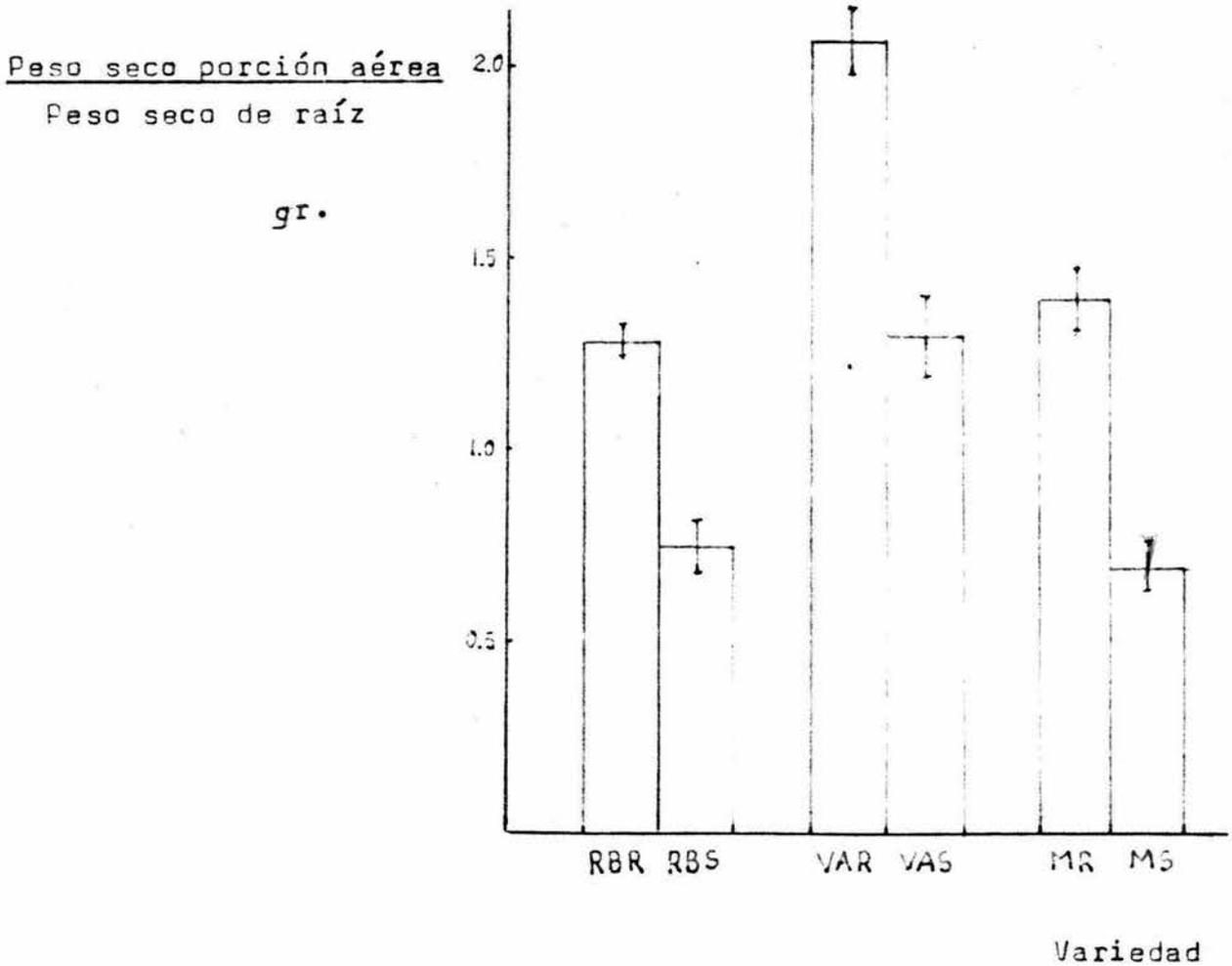


Figura 9. Efecto de la condición de riego y sequía sobre la razón vástago/raíz en sorgo. Cada punto es la media de 8 repeticiones \pm error estandar.

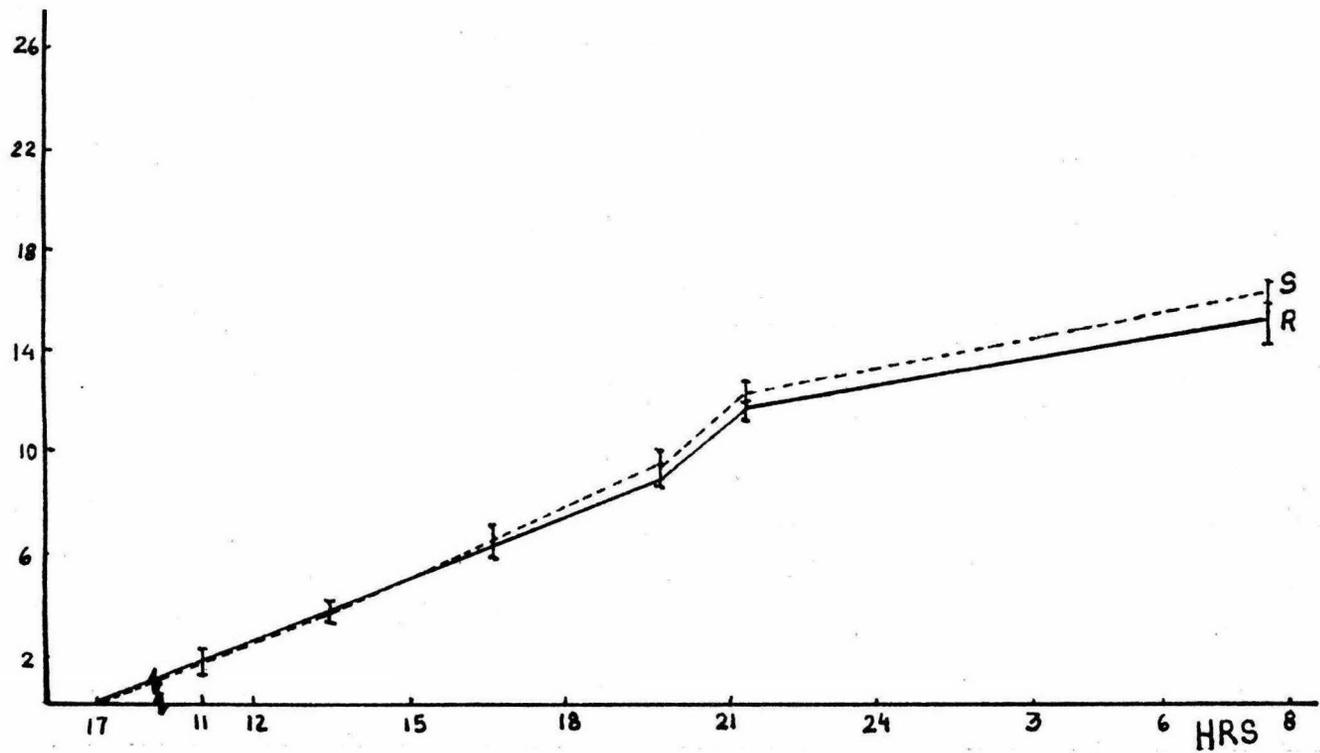


Figura 10. Efecto del riego y sequía sobre la velocidad de crecimiento foliar en RB20-20.

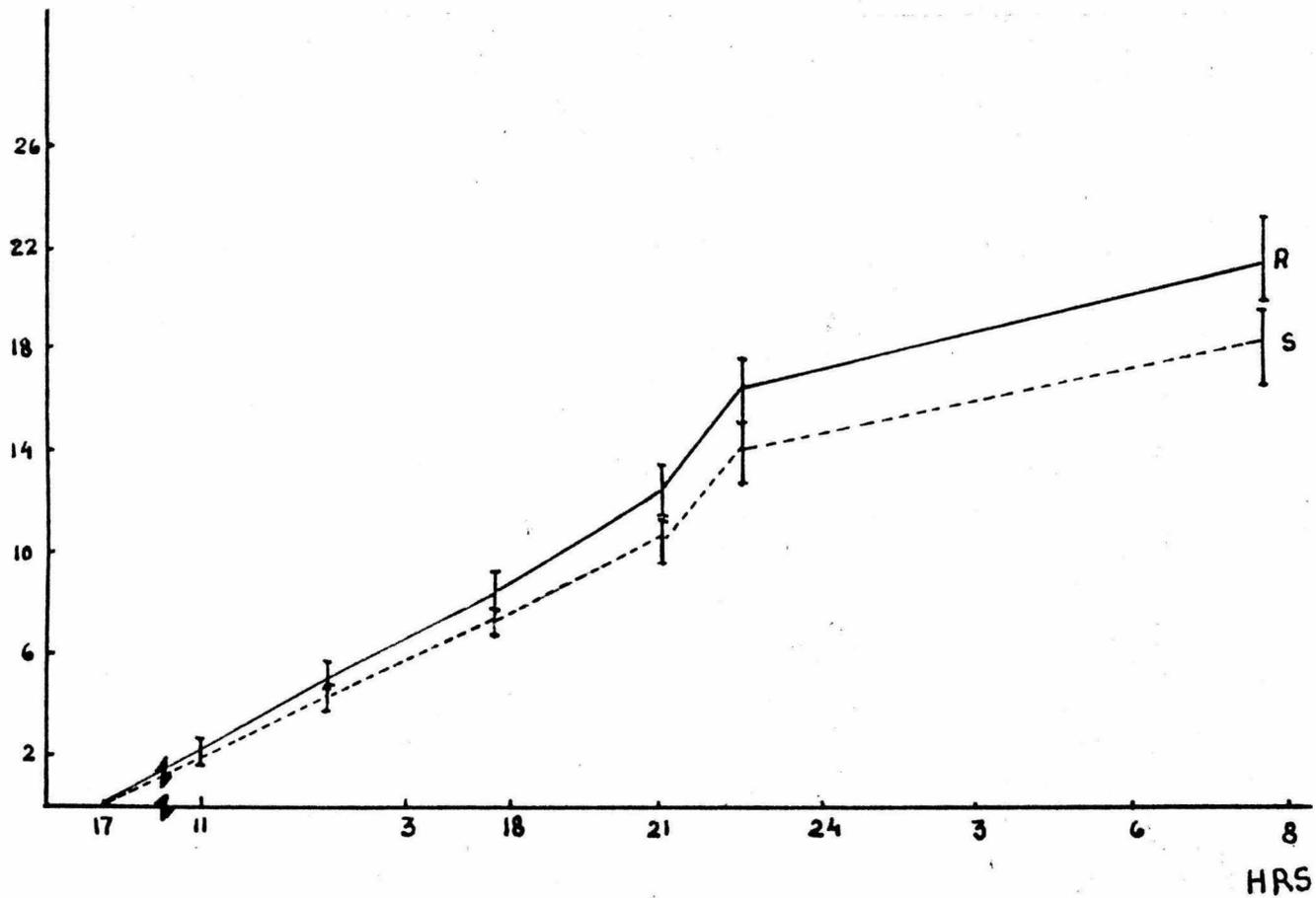


Figura 11. Efecto del riego y sequía sobre la velocidad de crecimiento foliar en Valles Altos 110.

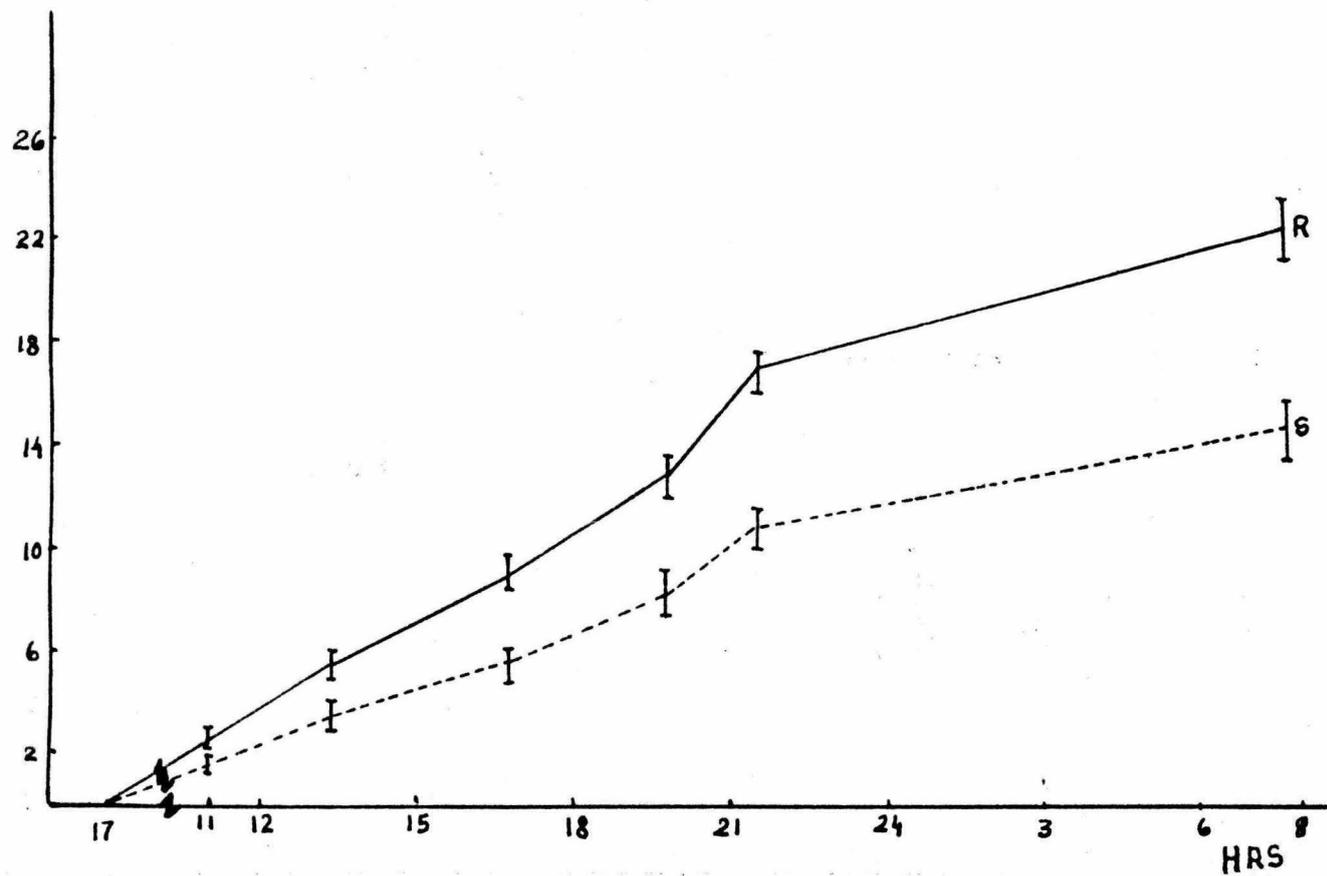


Figura 12. Efecto del riego y sequía sobre la velocidad de crecimiento foliar en M35-1.

DISCUSION

Ceras.

Los resultados obtenidos aparentemente muestran tres tipos de comportamiento en lo que se refiere a la acumulación de ceras frente a un deficit hídrico:

- RB20-20 --- bajo
- VA-110 --- medio
- M35-1 --- alto

El aumento registrado en M35-1 de 33.8% con respecto a sequía confirma algunos reportes donde la señalan como una variedad adaptada a medios ambientes secos (Jordan y Sullivan, 1981; Nour y Weibel, 1978).

Aparentemente el criterio utilizado de sequía edáfica no estimuló respuesta diferencial alguna en RB20-20 con respecto al control, aunque su contenido de ceras fué equiparable al encontrado en VAS y MR. De acuerdo a esto RB20-20 podría clasificarse en base a la cantidad absoluta de ceras y no en función de su respuesta adaptativa y M35-1 y VA-110 se caracterizaron no sólo por contener una alta cantidad de ceras sino también por responder de acuerdo al contenido de humedad del suelo.

La capacidad de acumular mayor contenido de cera provee a la planta de mejores oportunidades de prevenir la desecación; Si se considera el hecho demostrado de que la capacidad para acumular ceras tiene una base genética, entonces el comportamiento diferencial de cada variedad provee de una guía para pensar en la selección para resistencia a sequía por medio de la evaluación de éste caracter.

Contenido Relativo de Agua.

La capacidad para mantener un contenido superior de agua en los tejidos de la hoja puede estar correlacionado con una alta resistencia epicuticular (ceras), un sistema radical eficiente que antuviera altos índices de extracción de agua, siempre que la disponibilidad de agua sea adecuada, e una transpi

ración reducida.

Pero, ¿ si la disponibilidad de agua es baja?

En este experimento la mayoría de las variedades en condiciones de sequía mantuvieron un estado hídrico superior -- (92 - 95.5%) con respecto sus controles.

M35-1 en condiciones de buena humedad parece prevalecer en un estado de "despilfarro" de agua deducido esto del bajo contenido hídrico que presentó (88%), probablemente relacionado con su elevada transpiración. RB20-20 y VA-110 tendieron a mantener contenidos hídricos similares de 92.5 y 92.75% respectivamente, tal vez, como ya se mencionó, basados en un buen control de la pérdida de agua así como una eficiente extracción de la misma.

Si ésta última hipótesis es cierta, cabría preguntarse si realmente un valor de 15% de la capacidad de campo limitó efectivamente la capacidad de extracción de agua. En nuestra opinión ambas proposiciones son correctas y la baja disponibilidad de agua si afectó como se verá al comentar las otras características fisiológicas evaluadas.

Sanchez Díaz y Kramer (1971) reportaron un valor de 29% de deficit de saturación de agua (que corresponde a 71% de CRA) como el más bajo obtenido y correspondiente al momento en que dejaron de transpirar las plantas de sorgo. Para maíz se obtuvo el mismo efecto con 45% de DSA (55% de CRA) lo que evidencia una capacidad muy inferior de ésta planta para evitar la pérdida de agua pero, a la vez, quizás justifica la mayor producción de materia seca al dejar de fotosintetizar con contenidos hídrico muy inferiores.

Laing (1985, citado por Shaw y Laing, 1966) investigó el cierre estomatal en soya, encontrando que se induce con un CRA de 83% a 86% pero creciendo en un suelo con 32% de la capacidad de campo que es más del doble del valor utilizado en la presente investigación.

Con los resultados obtenidos y considerando que una planta que mantiene su DSA (en este caso su complemento, CRA)

constante durante la sequía revela mayor evasión (Levitt, 1980). Aventuramos tentativamente que las variedades utilizadas aparentemente emplearon mecanismos de evasión para su supervivencia (dado que son mutuamente comparables).

Asumimos que un diagnóstico fundamentado únicamente en una o dos características fisiológicas representa algún riesgo de error por lo que una definición más completa se redondeará más adelante al manejar el esquema interactivo de las características aquí investigadas.

Transpiración.

Las diferencias de potencial hídrico entre las hojas y la atmósfera que usualmente durante el día son extremas promueve que la transpiración sea mayor con respecto a la noche.

Sin embargo, las diferencias que presentó cada variedad ya son propias de sus respectivos mecanismos de control que nos permiten, en última instancia, identificar cada variedad en el esquema de riego-sequía de acuerdo a la valoración de éstas características.

Por ejemplo VA-110 aún cuando en sequía presentó la frecuencia estomática más alta (finura 5) y los valores de transpiración más bajos con respecto a RBR y MR (34.28 y 25.8% respectivamente), produjo la mayor cantidad de materia seca de tallo y hojas (finura 6) en riego y sequía lo que implica una eficiencia fotosintética superior.

Dos posibles explicaciones pueden ser:

a) Aún cuando tiene un gran número de estomas, sus sistemas de regulación de la apertura estomática fueron muy eficaces, estimulando ésta sólo ante condiciones propicias y manteniendo, por consiguiente, una mínima transpiración cuando no fué así.

b) El mayor número de estomas por unidad de área garantizó una mayor captación de CO_2 y por ende, más acumulación de materia seca aún cuando la transpiración fuese reducida todo el tiempo.

RB20-20 mantuvo altos índices de pérdida de agua en riego reduciendolos 20% en sequía sin alterar significativamente la cantidad de ceras, frecuencia estomática ni la producción de materia seca, lo que centraliza el mecanismo de regulación de la transpiración de ésta variedad en el control de la apertura estomática ya que no se pudo establecer alguna correlación como " a mayor contenido de ceras, mayor resistencia cuticular", puesto que tales diferencias no existieron.

Por último, la ausencia de diferencias marcadas en riego y sequía (3.2%) en M35-1 tanto a medio día como en la tarde puede indicar dos situaciones probables:

A) El nivel de humedad del suelo en sequía no limitó la capacidad de sus raíces de extraer el agua disponible permitiendo con estos valores de transpiración semejantes a las plantas con buena humedad.

B) La planta puede mantener altos niveles de transpiración tolerando la deshidratación.

La acumulación de menor cantidad de materia seca de la parte aérea de MS (figura 6) se puede relacionar con una baja eficiencia fotosintética y un pobre control en sus estomas (por los volúmenes de agua perdidos) logrando aún a pesar de ello mantener un alto CRA, lo que nos lleva a suponer que su sistema radical pudo extraer las cantidades necesarias de agua para mantener tales valores de transpiración.

La producción en la porción aérea de materia seca que fué 73.3% superior en MR (figura 6) parece corroborar ésta última afirmación pues mantuvo una relación directamente proporcional de ésta característica y la disponibilidad de agua aún cuando obtuvo la frecuencia estomática más baja.

De acuerdo a lo anterior, la opción más probable parece ser la A)..

Frecuencia Estomática.

El hallazgo de que el estado de sequía incrementa el número de estomas por unidad de área está plenamente documentado.

Gupta (1961) midió el número estomatal absoluto encontrando que sólo las hojas maduras mantuvieron valores similares en comparación con hojas jóvenes donde aún no había finalizado el desarrollo del número total de estomas.

Se puede inferir de lo anterior que si se aplica la sequía a plantas fisiológicamente maduras, sus hojas inhibirán su crecimiento, reflejándose ello en la disminución del área foliar con lo que al no alterarse el total de estomas, se provocará que haya mayor número en menor área.

La hipersensibilidad estomática (cierre ante pequeños déficits hídricos) se ha señalado como una característica negativa para la resistencia a la sequía (Henzell et al. 1975) con lo que podríamos concluir, si sólo tomáramos en cuenta este criterio para la evaluación de la resistencia a sequía que dado que VA-110 fué la variedad más sensible entonces es la menos adaptada, seguida en orden creciente por RB20-20.

M35-1, de acuerdo a este esquema (considerando exclusivamente la poca diferencia en su transpiración entre riego y sequía) la podríamos considerar tolerante por su baja sensibilidad al sustentar la mayor pérdida de agua (aún con la más baja frecuencia estomática).

Raíces.

El desarrollo del sistema radicular en las bolsas de 30 cm de profundidad, medido en base a peso seco, no tuvo diferencias y de alguna forma limitó la expresión del carácter, puesto que al utilizar bolsas de 90 cm se encontraron diferencias marcadas en riego y sequía para las tres variedades.

Naur y Weibel (1978) no reportaron diferencias en sergo al evaluar el peso seco del sistema radical utilizando bolsas de 20 cm de diámetro por 32 cm de profundidad y sugieren que probablemente el restringido espacio pudo influir en los resultados.

El sistema radical conlleva una función detectora de niveles adecuados de humedad dentro del volumen del suelo.

Aquellos que se riegan frecuentemente concentran la mayor cantidad de raíces en los estratos superficiales mientras que en suelo seco responden explorando niveles más profundos hasta encontrar puntos donde satisfacer sus necesidades de agua -- (Bhan, et al., 1973).

En nuestro experimento, la inmediata disponibilidad de agua en los tratamientos con riego en contraste con los de sequía, donde la rápida disminución de la humedad disponible y la inexistencia de mayor espacio y volumen que explorar bien pudo haber impedido el desarrollo de una masa radicular prominente ya que el crecimiento de ésta puede estar condicionada por las paredes de la bolsa.

Esta imposibilidad de explorar mayores volúmenes de suelo quizá se pudiera relacionar con el porte aéreo reducido y significativamente diferente en VAS y MS con respecto a VAR y MR respectivamente (figura 6).

La respuesta en la acumulación de peso seco en la porción aérea de RB20-20 no mostró diferencias entre riego y sequía mientras que en el desarrollo del sistema radical sólo se encontró a RBS superior en un 27.8% en relación a RBR.

Distribución del Sistema Radical de Acuerdo a Cada Estrato.

La elevada susceptibilidad de las raíces de VAS ante el déficit de humedad incrementó notablemente su masa radicular con respecto a EBS y MS que a su vez, fueron muy similares entre ellos.

Se han estimado los niveles del perfil del suelo donde se concentra la mayor biomasa radicular, sin embargo no se ha medido la humedad del suelo (en los artículos consultados) en esos mismos puntos.

Teare et al. (1973) en un estudio con sorgo donde midieron la distribución de las raíces en diferentes estratos del perfil del suelo, determinaron que en condiciones de buena disponibilidad de agua, aproximadamente el 51% de las raíces quedaron entre 0 y 32 cm.

Blum et al. (1977) señaló a los primeros 30 cm del suelo como la zona de mayor actividad radicular estimando también que debajo de los 90 cm puede existir una apreciable absorción de agua.

En nuestra investigación se encontró similitud de la humedad donde se concentró la mayoría de la masa radicular en riego y sequía aunque ello sucedió a diferentes profundidades.

Para riego se determinó a los 30 cm con 41.4, 44 y 54.5% del peso total de las raíces en MR, RBR y VAR respectivamente con una humedad promedio en el suelo de 10.01 (cuadros 11 y 12)

En sequía se midió a los 60 cm con 41.03, 42 y 46% en MS, RBS y VAS con una humedad de 10.38%.

Lo anterior podría sugerir que el nivel de humedad adecuado para una eficiente extracción fluctuó alrededor de 10% independientemente de la profundidad para las variedades de sorgo utilizadas.

Se puede afirmar que VAS evade la sequía con más eficiencia considerando que acumuló una biomasa total superior del sistema radicular.

La evaluación en condiciones de riego de M35-1 demuestra que tiene la característica de desarrollar sistemas radicales más grandes, seguido de RB20-20 y VA-110.

Es especialmente sobresaliente que VAR, con su reducido sistema radical pudo sustentar un aporte adecuado de agua y nutrientes a la porción aérea que fué la más desarrollada de las tres variedades. La implicación obvia es que VAR absorbe muy eficientemente siempre y cuando se le mantenga un buen aporte de agua sin por ello necesitar de raíces más extensas.

Por otro lado, se ha sugerido que el tiempo para la madurez de algunas variedades de sorgo puede presentar diferencias en la eficiencia de absorción del agua.

Blum (1970) encontró que un sorgo de madurez media utiliza el agua más rápido que una de madurez temprana, atribuyéndolo a diferencias del crecimiento radicular.

Blum (1977) mostró que un gran volumen radical se asoció con genotipos de sorgo de ciclo tardío.

En el experimento con bolsas de 90 cm se determinó que M35-1, señalada como de ciclo más tardío (Rome, 1984) presentó, con riego, una masa radical 14.77% mayor que RBR (tardía) y ésta última fué a su vez 26.6% superior a VAR (intermedia).

En sequía, como ya se mencionó RBS y MS fueron similares y VAS resultó 20.76% mayor, lo que nos da un patrón exactamente al revés de los reportes antes mencionados.

Es posible que la selección, al manejar este criterio, no sea del todo garantizable pero podría utilizarse como una guía para muestreos en la selección de variedades.

Razón Vástago/Raíz.

De acuerdo a la definición de ésta proporción se entiende que valores inferiores a uno implica mayor predominio de las raíces. Tal situación se encontró en MS y RBS.

Por otra parte, los valores superiores uno los presentaron en primer lugar VAR seguidos por MR, VAS y RBR que resultaron similares en cuanto a la comparación de su error estándar.

El efecto del riego a capacidad de campo indujo sistemas radicales poco prominentes para sustentar las necesidades transpiratorias de las variedades utilizadas. Es especialmente evidente en VAR donde su porción aérea fué la más grande y su sistema radical resultó el más pequeño.

La condición de sequía estimuló una mayor biomasa radicular para suministrar el agua y nutrientes necesarios para una pequeña pero fuerte demandante porción aérea, debido a las condiciones del entorno.

VAS mostró con bolsas de 30 cm de profundidad un sistema radical poco voluminoso pero eficiente, ya que sostuvo una porción aérea de mayor peso.

Esta prueba resultó consistente con la información disponible de que la falta de humedad provoca que la raíz crezca,

disminuyendo consiguientemente los cocientes V/R (Rivera G. 1983).

Crecimiento Foliar.

Diversos investigadores estiman que la velocidad de crecimiento de una planta es extremadamente sensible a déficits hídricos (Hsiao, 1970; Parsons, 1982; Horton, 1974).

Sin embargo, la evasión de la inhibición del crecimiento podría lograrse ya sea con un sistema radical bien desarrollado o con ayuda de estrategias que mantengan elevados contenidos hídricos en las hojas (producción de ceras, cierre de estomas).

El mantenimiento de elevados índices de crecimiento aún en condiciones de déficits hídricos se ha correlacionado con el denominado ajuste osmótico que consiste en la acumulación pasiva o activa de solutos que provocan que el potencial hídrico alcance valores más pequeños, disminuyendo la energía libre de la hoja para estimular así el flujo de agua de otros puntos con mayor energía y lograr con esto mantener la turgencia y por consiguiente el crecimiento sostenido (Parsons, 1982).

Para el caso que nos ocupa, RB20-20 no presentó diferencias entre riego y sequía (figura 10) pudiendolo situar como una variedad a la cual, el efecto del déficit de humedad no afecta su velocidad de crecimiento. Esta evidencia nos hace sospechar que tal vez posea algún mecanismo de ajuste osmótico.

VA-110 tendió a crecer más rápido en riego, aunque sus errores estandar tienden a sobreponerse (figura 11).

M35-1 se comportó de manera similar y aún es considerada generalmente como una variedad resistente a sequía presentó de sus curvas de crecimiento entre riego y sequía, evidenciando que es ampliamente afectada por la deficiencia de humedad en el suelo en condiciones de invernadero.

Un aspecto digno de mención en el análisis de las curvas de crecimiento es que entre las 20:30 y las 21:00 hrs. se no-

tó un incremento más rápido que fué el que marcó el punto don de se separaron las líneas para dar lugar a las mayores diferencias entre riego y sequía en todas las variedades.

Una explicación tentativa de este aumento podría ser lo que señala Parsons (1982) donde indica que como el crecimiento es más sensible al stress, ello supone que ocurre durante la noche, y cuando las condiciones ambientales son más húmedas.

Respecto a la técnica utilizada, consideramos que la medición de la elongación foliar podría ser útil para la selección de plantas monocotiledoneas resistentes a sequía.

Espectro de Varación Fisiológica.

Con el objeto de integrar todas las variables de respuesta estudiadas, se elaboró una gráfica con número de ejes igual al de las características medidas, que se denominó "Espectro de Varación Fisiológica" (EVF).

En las figuras 13, 14 y 15 se ilustran los EVF de las tres variedades. Nótese que en el extremo de cada eje se marcaron con un asterisco o las siglas N.S. para indicar si hay o no diferencias en cuanto al análisis del error estandar de de cada parámetro

Ya se indicó que los análisis de varianza mostraron diferencias significativas para la mayoría de los casos en las fuentes de variación riego-sequía; variedad y sus interacciones siendo las excepciones raíces y ceras. Sin embargo, dentro del análisis gráfico se muestran tendencias diferenciales entre riego y sequía por lo que con el fin de facilitar el análisis se manejarán dichos parámetros dando por entendidas estas aclaraciones.

Variedad RB20-20 (Figura 13).

El mantenimiento de diferencias evidentes entre riego y sequía en la transpiración de medio día y en la tarde (fin.4) sugiere un cierto grado de hipersensibilidad estomática.

No se intentó relacionarlo con su contenido de ceras ni con frecuencia estomática puesto que fueron similares tanto

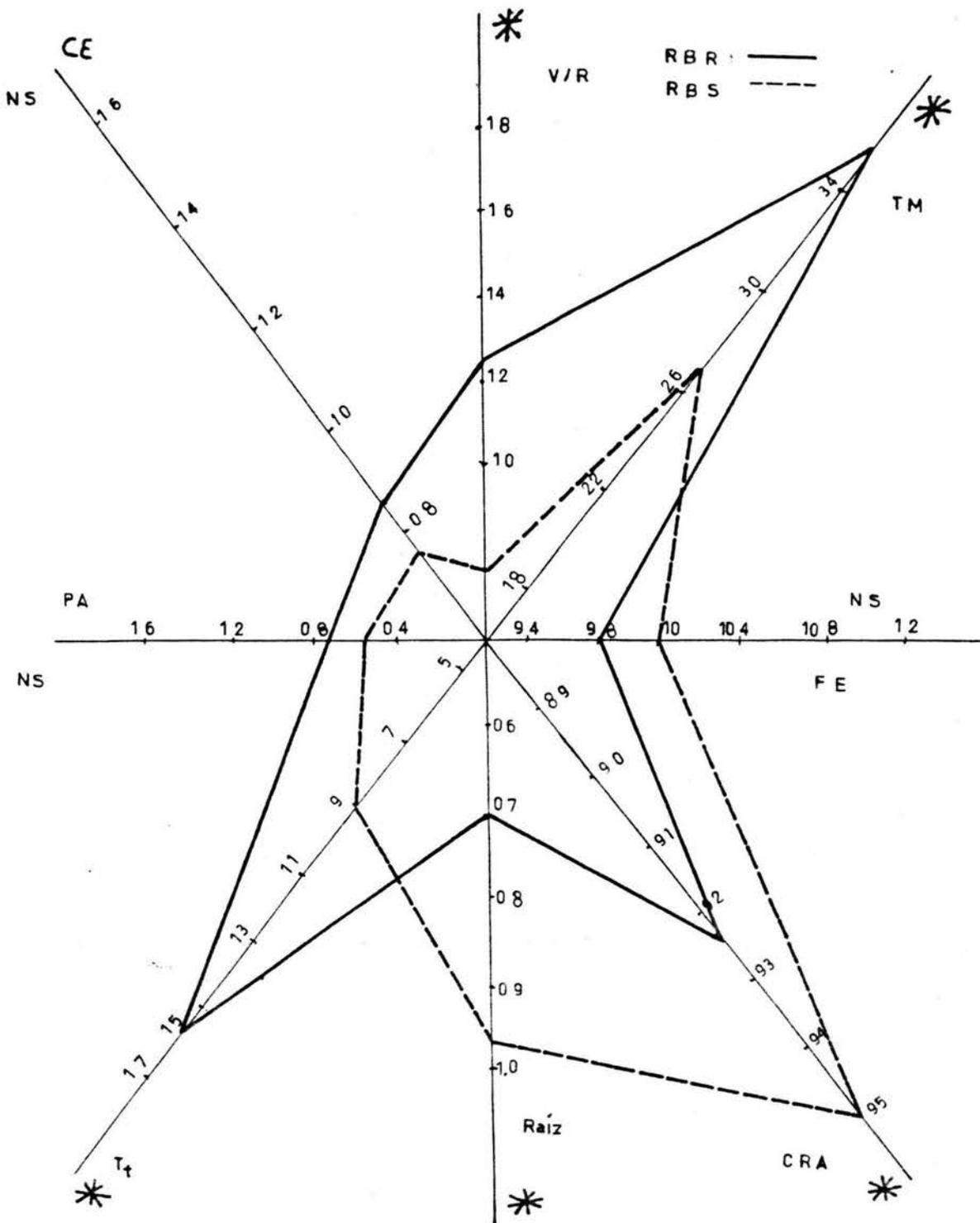


Figura 13. Espectro de variación fisiológica de RB20-20 en riego y sequía. Se registraron las medias de las gráficas de barras anotando con un asterisco al extremo de cada eje si hubo diferencias significativas o no (NS) en base al análisis del error estándar.

en riego como en sequía.

Por otra parte, el elevado y significativamente diferente CRA en sequía corrobora la afirmación anterior de una regulación estomatal.

Otra posible explicación para los valores de CRA de RBS podría relacionarse con su sistema radical notablemente más desarrollado que suministraría las cantidades necesarias de agua para mantener un alto contenido hídrico en las hojas.

La porción aérea (tallos, hojas) tampoco se puede correlacionar con las diferencias en la transpiración pues no hay tales entre riego y sequía. Sin embargo, en la razón vástago/raíz, los valores inferiores a uno de RBS muestran una dependencia importante del sistema radical para el aporte de agua.

La inexistencia de diferencias en el crecimiento foliar puede explicarse si se relaciona con su bien desarrollado sistema radical que pudo haber mantenido altos índices de extracción de humedad.

Variedad Valles Altos 110 (figura 14).

La evaluación de la transpiración entre riego y sequía mostró valores muy reducidos y significativamente diferentes. Esto se correlacionó punto por punto, con el CRA que obtuvo valores superiores en sequía (transpiración baja) e inferiores en riego (transpiración alta).

Es notorio también que la poca pérdida de agua en sequía se presentó sustentada en un mayor contenido de ceras, que como ya se mencionó, aumentó la resistencia epicuticular reduciendo, por consiguiente, la pérdida de agua.

El hecho de que la frecuencia estomática de VAS resultara mayor y significativamente diferente no implicó por ello, altas tasas transpiratorias sino inferiores, lo que corrobora el control estomático de la pérdida de agua ante condiciones de stress para ésta variedad.

A pesar de que las raíces fueron similares en riego y sequía mantuvieron el aporte de agua y nutrientes a porciones aéreas muy disímiles, siendo VAR la mayor tanto con respecto a

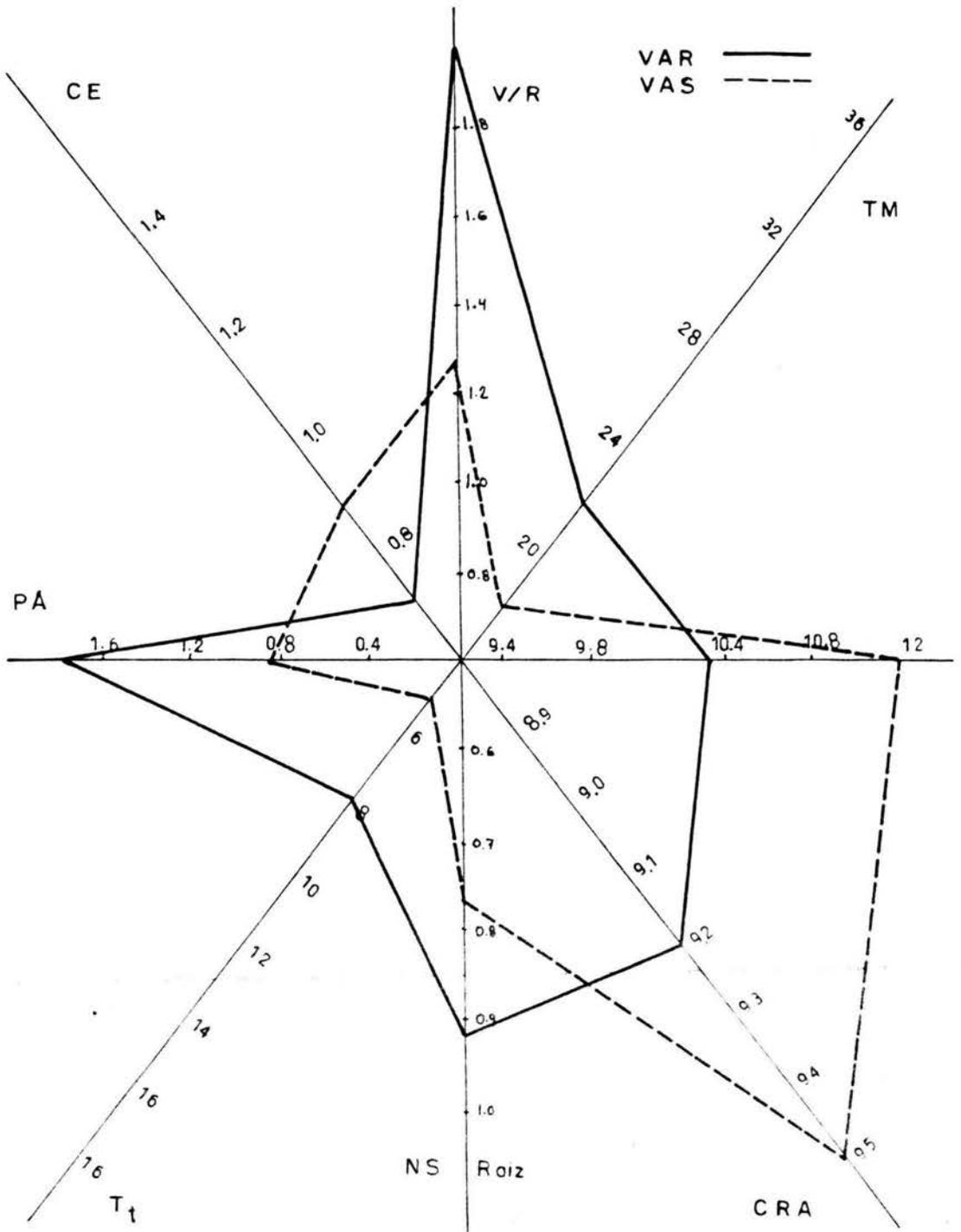


Figura 14. Espectro de variación fisiológica de Valles Altos 110 en riego y sequía. Se registraron las medias de las gráficas de barras anotando con un asterisco al extremo de cada eje si hubo diferencias significativas o no (NS) en base al análisis del error estandar.

VAS como a las demás variedades.

La porción aérea de VAS fué significativamente inferior a VAR y también acumuló la mayor cantidad de peso seco con respecto a VAS como a RB-20-20 y M35-1 en ambos estados de disponibilidad de agua en el suelo. Ello implica en VA-110 un sistema radical muy eficiente.

Los resultados de la razón vástago/raíz son elocuentes - alcanzando valores hasta de 2.0 en VAR y superiores a 1.0 en VAS lo que confirma lo ya dicho.

Variedad M35-1 (figura 15).

Esta variedad conservó valores similares de transpiración entre riego y sequía tanto a medio día como en la tarde. De manera característica en sequía mantuvo un alto contenido hídrico de las hojas el cual puede hallarse supeditado a su elevado contenido de ceras en ésta condición lo que bien pudo evitar la pérdida de agua por la cutícula independientemente que tuvo una elevada frecuencia estomática correlacionable con la transpiración.

Las raíces de MS que fueron significativamente superiores a la porción aérea bien podría suministrar un aporte adecuado de agua para mantener un alto CRA.

La razón vástago/raíz resultó menor de 1.0 evidenciando que ésta variedad disminuye en general su porte en un déficit hídrico mostrando dependencia del sistema radical para mantener un aporte adecuado que sustentará las altas tasas transpiratorias medidas.

MR presentó una razón vástago/raíz superior a 1.0 junto con el valor más pequeño de CRA, una disminución del contenido de ceras así como una menor frecuencia estomática. Esto nos indica que M35-1 usa gran cantidad del agua disponible en riego, comportandose de una forma muy contrastante en sequía. Su susceptibilidad al stress hídrico en cuanto a la acumulación de la parte aérea es especialmente notable si se considera que mantuvo la diferencia más marcada entre riego y sequía.

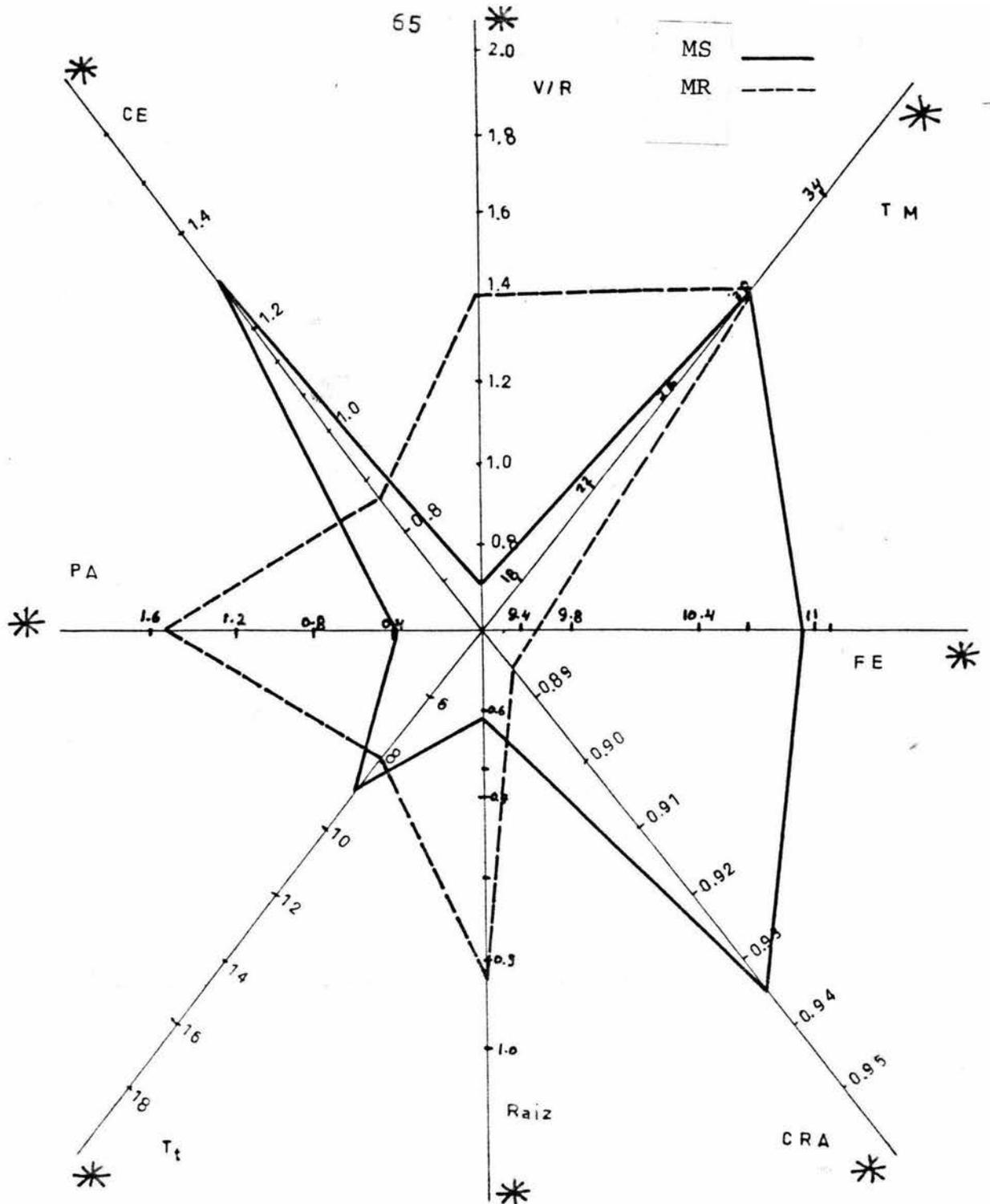


Figura 15. Espectro de variación fisiológica de M35-1 en riego y sequía. Se registraron las medias de las gráficas de barras anotando con un asterisco al extremo de cada eje si hubo diferencias significativas o no (NS) en base al análisis del error estandar.

DIAGNOSTICO

1. La variedad RB20-20 evitó la pérdida de agua apoyada fundamentalmente en un sistema radical desarrollado así como en la regulación de apertura estomática. Tales características la colocan como una planta evasora de la sequía.

2. La variedad Valles Altos 110 utilizó la evasión a la sequía como estrategia de supervivencia a través de un eficiente control de la transpiración así como con la síntesis de ceras fluctuando en estrecha relación con las variaciones del contenido de humedad del suelo.

3. La variedad M35-1 presentó características de evasora de la deshidratación pues mantiene un alto contenido relativo de agua sustentado quizá en un sistema radical más desarrollado que la porción aérea y un elevado contenido de ceras.

CONCLUSIONES

1. La evaluación de caracteres fisiológicos aislados para ser utilizados como criterios de selección de resistencia a sequía puede ser de valor limitado.
2. La utilización de bolsas de 30 cm de profundidad por 10 cm de diámetro impidió la expresión del potencial del sistema radical.
3. La utilización de bolsas de 90 cm de profundidad por 10 cm de diámetro resultó más adecuada para evaluar la distribución del peso seco del sistema radical.
4. Se considera que las técnicas empleadas en ésta investigación podrían ser guías útiles para la selección en programas de resistencia a sequía.
5. La variedad RB20-20 fué poco susceptible a las variaciones medioambientales aunque evadió la sequía a través del desarrollo de un sistema radical eficiente así como por la regulación de la transpiración.
6. La variedad Valles Altos 110 resultó susceptible a los cambios de humedad evadiendo la sequía por medio de un eficiente control de la transpiración y la síntesis de ceras.
7. La variedad M35-1 demostró ser más susceptible a los cambios de humedad disminuyendo su porte de tallo y hojas drásticamente en la condición de sequía. Se concluye que presentó características de evasora ya que mantuvo altos contenidos hídricos dependiendo esto de un sistema radical desarrollado además de un elevado contenido de ceras.
8. Se propone el espectro de variación fisiológica como una forma sencilla de evaluar de manera integrada las diversas respuestas fisiológicas medidas teniendo posibilidades para valorar mayor número de características.

SUGERENCIAS

1. Se propone probar las variedades en cuanto a los parámetros medidos en el campo, ya que es necesario saber si existe correlación con los datos de invernadero evaluados aquí y así poder usarla con mayor certeza para la selección de variedades resistentes a sequía.
2. Es necesario tomar más mediciones para así tener una mejor idea del comportamiento de las variedades en el tiempo.
3. Por ser un aspecto importante de la relación planta-atmósfera, se recomienda la medición de la resistencia estomática a lo largo del día para obtener así una mejor comprensión de la respuesta de sorgo en condiciones de sequía.

REFERENCIAS

- Ackerson, R.C. et al. 1977. Water relations of field grown cotton and sorghum: temporal and diurnal changes in leaf water osmotic and turgor potentials. *Crop Sci* 17:76-80.
- Aguilera C, M. y R. Martinez E. 1980. Relaciones anua suelo - planta atmósfera. 2a ed. U.A.Ch. México; pp. 106-132.
- Alfaro M., C. y J. Kohashi S. 1976. Distribución de estomas en la primera hoja de plántulas de cuatro razas de maíz. *Agrociencia* 24:3-22.
- Ballesteros P., G.A. 1983. El sombreado artificial en un frijol indeterminado, arbustivo; efectos morfológicos y fisiológicos. Tesis M. en C. Colegio de Postgraduados; Chapinno, México. pp. 79, 215-216.
- Bengtson, C.; S. Larson y C. Lilienberg. 1978. Effects of water stress on cuticular transpiration rate and amount and composition of epicuticular wax in seedlings of six oat varieties. *Physiol. Plant* 44:319-324.
- Bhan, M. ; H.G. Singh. 1973. Note on root development as an index of drought resistance in sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) *Indian Jour. of Agricultural Science*. 43:828-830.
- Blum, A. 1970. Effect of plant density and growth duration on grain sorghum yield under limited water supply. *Agron. J.* 62:333-336.
- Blum, A. 1974. Genotypic responses in sorghum to drought stress. I. Response to soil moisture stress. *Crop Sci.* 14:361-364.
- Blum, A. et al. 1977. Sorghum root morphogenesis and growth. I. Effect of maturity genes. *Crop Sci.* 17:149-153.
- Cantú G., F.J. 1980. Determinación de la relación de evapotranspiración en 4 cultivares, maíz, girasol, frijol delicias y sorgo topaz. I.T.E.S.M. Monterrey N.L. 67 p.

- Chatterton, N.J. et al. 1975. Photosynthesis and transpiration of bloom and bloomless sorghum. *Can. J. Plant Sci.* 55:641-643.
- Davies, W.J. y T.A. Mansfield. 1978. Strategies employed by plants to conserve water: can we improve on them? *Proc. Joint BCPC and BPGRG Symp. Opportunities from Chem. Plant Growth.* pp.
- Ebercon, A. et al. 1977. A rapid colorimetric method for epicuticular wax content of sorghum leaves. *Crop Sci.* 17:179-180.
- Gupta, B. 1961. Correlation of tissues in leaves. 2. Absolute stomatal numbers. *Ann. Bot.* 25:71-77.
- Henzell, R.G. et al. 1975. Method for screening sorghum genotypes for stomatal sensitivity to water deficits. *Crop Sci.* 15:516-518.
- Horton, M.L. et al. 1974. Physiological and environmental factors. *Agricultural Meteorology.* 14:59-83.
- Hsiao, T.C. 1970. Maize leaf elongation: continuous measure and close on plant water status. *Science* 168:590-591.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24:519-570.
- Jordan, W.R. y F.R. Miller. 1980. Genetic variability in sorghum systems: In: Turner N.C. y P.J. Kramer (Editors) 1980. *Adaptation of plants to water and high temperature stress.* John Wiley and Sons. U.S.A..
- Jordan, W.R. y R.L. Monk. 1980. Enhancement of drought resistance of sorghum progress and limitations. Pages 185-204. In: *Proceedings of the 35 th annual corn and sorghum research conference, grain sorghum producers association.* Wichita, Kansas.
- Jordan, W.R. y C.Y. Sullivan. 1981. Reaction and resistance of grain sorghum to heat and drought. Symposium --- "Sorghum in the eighties"; Hyderabad, India -- (ICRISAT) 38 p.

- Jordan W.R. et al. 1983. Environmental physiology of sorghum
I. Environmental and genetic control of epicuticular wax load. Crop Sci. May-June.
- Kramer, P.J. 1974. Relaciones hídricas de suelo y plantas. EDUTEX. México. 538 p.
- Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stress. Vol II. Water, radiation, salt and other stresses. 2nd Ed. Academic Press. New York. pp. 187-211.
- Márquez B, S. 1983. Introducción del simposium de "La sequía y su impacto en la agricultura. Depto. Fitotecnia U.A.Ch. pp. 9-13bis, 60.
- McCree, K. J. 1974. Changes in the stomatal response characteristics of grain sorghum produced by water stress during growth. Crop Sci. 14:273-278.
- McCree, K.J. y S.D. Davies. 1974. Effect of water stress and temperature on leaf size and number of epidermal cells in grain sorghum. Crop Sci. 14:751-755.
- Meyer, S.B. y B.D. Anderson. 1941. Laboratory plant physiology. 2nd. ed. Ed. D'van Nostrand. New York. p.
- Miskin, K.E. y D.C. Rasmusson. 1970. Frequency and distribution of stomata in barley. Crop Sci. 10:575-578.
- Muñoz O., A. 1980. Resistencia a la sequía y mejoramiento genético. Ciencia y Desarrollo No. 33:26-35.
- Nour, A. y D.E. Weibel. 1978. Evaluation of root characteristics in grain sorghum. Agronomy J. 70:217-218.
- Paleg, L.G. y D. Aspinall. 1981. The physiology and biochemistry of drought resistance in plants. Academic Press. Sydney Aust. pp. 15-37.
- Pallas, J.E. et al. 1967. Photosynthesis, transpiration, leaf temperature and stomatal activity of cotton plants under varying water potentials. Plant Physiol. -- 42:76-78.
- Parsons, L.R. 1982. Plant responses to water stress in: Turner, N.C. y M. Jones. Breeding plants for less favorable environments. John Wiley and Sons. U.S.A. pp. 175-191.

- Plaut, Z. et al. 1969. Effect of soil moisture regime and row spacing on grain sorghum production. *Agron. J.* 61:344-347.
- Quinzenberry, J.E. 1982. Breeding for drought resistance and plant water efficiency. In: Turner, N.C. y M.Jones Breeding plants for less favorable environments. John Wiley and Sons. U.S.A. pp. 193-212.
- Rappaport, L. y R. Sachs. 1976. Course of physiology of cultivated plants. Dept. of Plant Sciences Univ. of California, Riverside. U.S.A. p. 11. (chapter V).
- Rivera, G.F.J. 1983. Relación sistema foliar-sistema radicular en 2 fases de corte de maíz (Zea mays) y sorgo - (Sorghum vulgare) bajo condiciones de invernadero. I.T.E.S.M. Monterrey N.L. 70 p.
- Rivera, M.J. 1965. Pérdida de humedad de los tejidos en plantas de maíz bajo condiciones de riego y sequía. Tesis profesional. U.A.Ch. p.
- Rodríguez O., J.L. 1977. Relaciones entre transpiración, anatomía, morfología y marchitez de hojas de maíz y sorgo. E.N.A. Colegio de Postgraduados, Chapingo México p.
- Rodríguez P., R. 1969. Influencia de diferentes niveles de humedad en el rendimiento de sorgo para grano (S. vulgare) en el ciclo de primavera. Tesis Inn. Agr. Univ. Nuevo León. Fac. Agronomía.
- Rojas G., M. 1980. Fisiología Vegetal aplicada. 2a ed. Ed. McGraw-Hill. México. pp. 179-180.
- Romo C., E. y A.C. Carballo. 1981. Valles altos 110, nueva variedad de sorgo para grano para los valles altos de México. S.A.R.H.: I.N.I.A. Folleto Técnico No. 1 p. 8.
- Romo C., E. 1984. Comunicación personal.
- Rzedowski, J. 1968. Las principales zonas áridas de México y su vegetación. *Bios* 1(1):4-24.

- Salim, M.H. et al. 1969. Evaluation of techniques for measuring drought avoidance in cereal seedlings. *Agron. J.* 182-185.
- S.C.S. (Servicio de conservación de suelos) Depto. de Agricultura de los E.U.A. 1972. Relación entre suelo -- planta- agua. México. Diana. pp. 64-67.
- Sevilla R., L. 1983. Resistencia a la sequía XII. El índice estomático, forma, tamaño y distribución de estomas en cuatro cultivares de frijol. (Phaseolus vulgaris). Tesis profesional U.N.A.M. Fac. Ciencias. México . pp.
- Shaw, R.H. y D.R. Laing. 1966. Moisture stress and plant response. In: Pierre, N.H. et al. (editor) *Plant environment and efficient water use*. American agronomy (Soc.) and soil science soc. of America. Iowa pp.77-84.
- Sullivan Y.C. y J.D. Eastin. 1974. Plant physiological responses to water stress. *Agricultural Meteorology* 14:113-127.
- Teare, I.D. et al. 1971. Size and frequency of leaf stomata in cultivars of Triticum aestivum and other Triticum species. *Crop Sci.* 11:496/498.
- Teare , I.D. y E.T. Kanemasu. 1972. Stomatal diffusion resistance and water potential of soybean and sorghum leaves. *New Phytol.* 71:805-810.
- Teare, I.D. et al. 1973. Water-use efficiency and its relation to crop canopy area, stomatal regulation and root distribution. *Agron. J.* 65:207-211.
- Torrez R., E. 1983. *Agrometeorología*. Diana. México. pp. 114-115.
- Turner, N.C. y J.E. Begg. 1973. Stomatal behavior and water status of maize, sorghum and tobacco under field conditions. I. At high soil water potentials. *Plant Physiol.* 51:31-36.

- Turren, F.A. et al. 1978. El uso de los síntomas de marchitez del maíz como un índice de sequía a nivel de campo. 2a ed. Edición facsimilar. Rama de suelos. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. p. 13.
- Urbieta U., B.R. 1982. Resistencia a la sequía VII: Efecto antitranspirante de salicilatos en Phaseolus vulgaris L. Tesis profesional. Fac. de Ciencias. --- U.N.A.M., México. pp. 1-2.
- Wong R., R. 1979. Comportamiento de las características agronómicas, índices fisiológicos y patrones de crecimiento de 50 genotipos de sorgo bajo el esquema riego-sequía. Tesis M. en C. Colegio de Postgraduados; Chapingo, México. p
- W.M.O. (World meteorological organization). 1975. Drought and agriculture. Definition of Drought. Secretarial of the Meteorological Organization. Geneva Switzerland, Technical note 138. pp.12-15, 81-92, 110-119.