

SELECCIÓN DE MATERIALES DE SORGO TOLERANTES A LA SEQUÍA*

Marco Antonio Vuelvas**

José de Jesús Arreola**

Teresa Reyna Trujillo***

Resumen

En el Campo Experimental Bajío del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Celaya, Gto., México, se evaluó la respuesta a la sequía edáfica de dos líneas de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), B-18-B (L1) y RTx430 (L2), bajo dos niveles del potencial hídrico en el suelo (-0.08 MPa y -1.4 MPa), en dos etapas fenológicas del cultivo, antes y después de la floración. Para su evaluación se consideraron parámetros fisiológicos como el potencial hídrico en la hoja y la resistencia estomática a la difusión, realizándose el análisis de crecimiento de la planta. La línea RTx430 (L2) mostró mayor sensibilidad estomática, tasa de asimilación neta y capacidad de recuperación vegetativa, manteniendo menor proporción de hojas y área foliar, lo que se reflejó en un mayor rendimiento de grano y eficiencia en el uso del agua. Estos resultados muestran que la línea RTx430 (L2) es resistente a la sequía.

Summary

In the Bajío Experimental Station of the INIFAP, Celaya, Gto., Mexico, it was evaluated the effects of two soil water potential (-0.08 MPa y -1.4 MPa), in two crop's phenological stages, before and after flowering in the response of two sorghum lines (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), B-18-B (L1) and RTx430 (L2). The evaluation by the drought resistance was considered physiological indicators such as leaf-water potential and stomatal diffusion resistance, effecting the plant growth analysis. The RTx430 (L2) line showed greater stomatal sensibility, net assimilation rate and vegetative recuperation, maintaining lesser leaf number in the plant and leaf area thereby it was obtained greater grain yield and water use efficiency, this result indicates that the RTx430 (L2) is drought resistant.

1. Introducción

En el mundo en general, el fenómeno del efecto invernadero, también conocido como calentamiento global, ha sido estudiado en las últimas décadas con mucho más interés del que recibía en el pasado y así se ha detectado que los incrementos en CO₂, CH₄ y clorofluorocarbonados (CFC's), han aumentado la capacidad de retención de calor y, en efecto, Gay, Menchaca y Conde (1991) mencionan que estudios recientes en todo el mundo han demostrado que la temperatura de la Tierra aumentó 0.5 °C.

Los autores antes citados afirman también, que en México se han hecho estudios del efecto invernadero mediante modelos teóricos (radiactivo - convectivo y termodinámico) simulando las condiciones atmosféricas esperadas para el próximo siglo, que en suma

* Recibido: 22 de junio de 1996.

** Programa de Uso y Manejo del Agua, INIFAP, CIR-Centro, CEBAJ, Celaya, Gto., México.

*** Instituto de Geografía, UNAM, México.

cambiarían la temperatura a nivel global, trayendo consigo cambios en los demás elementos del clima y, por lo mismo, con consecuencias ecológicas, económicas y sociales. Se espera que México sea mucho más seco y cálido y que cuente con menos recursos acuáticos.

Particularmente, y desde el punto de vista agrícola y de producción de alimentos, tanto para el hombre como para los animales, este cambio también ha venido preocupando desde hace ya algunas décadas. Algunos investigadores consideran que los efectos más importantes del cambio climático global en la agricultura, son los referentes a la modificación de las condiciones térmicas, la cantidad y distribución de la lluvia y la alteración de la concentración del CO₂ en la atmósfera, lo cual ha ocasionado que algunas especies vegeales disminuyan su eficiencia en la producción, debido principalmente a la falta de agua por periodos prolongados, condición, esta última, ya conocida y mencionada por Hounam (1970) como sequía meteorológica.

Otros autores (Vuelvas, 1987) definen a la sequía desde el punto de vista agrícola como una disminución del estado energético del agua en la planta y en el suelo, que tiene un efecto negativo en la producción.

Vista la respuesta de varios cultivos (maíz, frijol, sorgo y otros cereales) ante la sequía, ya sea atmosférica o edáfica y ante éstas como procesos naturales y de reajustes del mismo planeta (Denmead *et al.*, 1960; Reyna, 1970; Blum, 1974; Reyna y Villegas, 1978; Foster, 1979; Beltrán, 1990, y otros), o bien, ya propiamente dentro del cambio climático (Liverman, 1992; Vuelvas y Arreola, 1994), se ha visto que el sorgo es un cultivo que tiene una amplia capacidad de adaptación a diferentes ambientes físicos, por lo que es uno de los cereales con mayores posibilidades para atenuar los efectos en la producción en diversos escenarios que pudiesen presentarse ante la eventualidad de un cambio climático. Sin embargo, para entender las respuesta del cultivo en estos diferentes escenarios, es preciso conocer los procedimientos que permitan incrementar la disponibilidad del agua en el suelo, disminuir la demanda evapotranspirativa del cultivo y mejorar la eficiencia en el uso del agua (fotosíntesis-evapotranspiración o rendimiento-consumo de agua).

Fue por ello que en el estado de Guanajuato, desde 1985 y antes de que el tema de cambio climático propiamente ocupara un primer nivel en la investigación agrícola, se iniciaron los primeros trabajos en sorgo, con la finalidad de identificar materiales que eficientaran el recurso hídrico en zonas cuya marginación, en este aspecto, fuera notable; para lograrlo se plantearon tres estrategias: *a)* caracterización agroclimática del área temporalera de sorgo en el estado; *b)* detección de materiales de sorgo con tolerancia al estrés hídrico, y *c)* ensayos regionales con materiales de sorgo tolerantes a sequía.

Actualmente se cuenta con información que permite conocer cuáles son las áreas de mayor potencial agroclimático para la siembra del sorgo, identificándose también algunos genotipos de sorgo tolerantes a la sequía, y se continúan los ensayos regionales con otros cultivos (ajo y cebolla, principalmente).

En esta investigación se reporta como se llegó a la fase de detección de materiales de sorgo tolerantes al estrés hídrico.

2. Objetivos

Los principales objetivos fueron la evaluación de una metodología basada en parámetros fisiológicos y morfológicos para caracterizar el comportamiento del sorgo bajo dos condiciones de estrés hídrico en dos etapas fenológicas; y la evaluación de grano del cultivo en diferentes escenarios de estrés hídrico bajo condiciones controladas de humedad.

3. Materiales y métodos

El experimento se realizó en el Campo Agrícola Experimental Bajío (CEBAJ), ubicado en el km 6.5 de la carretera Celaya-San Miguel Allende, Gto. Geográficamente se encuentra localizado a 20°31' de latitud norte y 100°45' de longitud oeste, con una altitud de 1 752 msnm. La temperatura media del lugar durante el ciclo de cultivo fue de 19.5 °C y se tuvieron 253 mm de precipitación pluvial. El suelo es arcilloso en los primeros 90 cm y en el estrato de 90-120 cm presenta textura migajón-arcilloso-arenoso.

Diseño del experimento

Factores de estudio: La humedad del suelo fue tomada como factor de estudio en las etapas fenológicas:

Antes de floración (AF), esta fase se consideró desde la germinación hasta aproximadamente 50% de la floración.

Después de la floración (DF), abarcando desde el final de la fase anterior hasta la madurez fisiológica.

Los materiales de sorgo que se utilizaron fueron la Líneas B-18-B (L1) y la RTx430 (L2).

Niveles de potencial hídrico. Se consideraron dos niveles del potencial hídrico en el suelo en las dos etapas fenológicas, éstos fueron -0.08 y -1.4 Megapascuales (MPa), con el fin de tener condiciones de alta humedad y de sequía. En el **cuadro 1** se muestran los tratamientos estudiados.

Cuadro 1. Tratamientos del potencial hídrico del suelo en dos etapas fenológicas

Número de Tratamiento	Potencial hídrico en el suelo (en MPa)	
	AF	DF
T1	-0.08	-0.08
T2	-1.4	-0.08
T3	-0.08	-1.4
T4	-1.4	-1.4

AF = antes de floración

DF = después de floración.

Diseño experimental y distribución de tratamientos. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas y cuatro repeticiones. La parcela grande correspondió a los tratamientos del potencial hídrico en el suelo y las parcelas chicas a los materiales de sorgo.

Trabajo de campo

Siembra y fertilización: La siembra se efectuó el 16 de julio de 1986, con una densidad de 20 kg/ha. Se fertilizó con la fórmula 220-40-00 kg/ha; se aplicó la mitad del nitrógeno y todo el fósforo en la siembra y el resto del nitrógeno a los 35 días después de la emergencia.

Control de la humedad del suelo y aplicación de los riegos: La estimación del contenido de humedad en el perfil del suelo se hizo por el método gravimétrico, utilizando barrenas tipo vehimeyer a las profundidades 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 y 90-120. Para aplicar el riego se utilizaron sifones de aluminio de pulgada y media de diámetro, previamente calibrados.

Análisis de crecimiento. Para efectuar este análisis se hicieron a lo largo del ciclo del cultivo, muestreos semanales del área foliar de la planta, peso seco de las hojas, tallo y panoja; además de estos parámetros se tomaron datos de la altura total, con objeto de conocer la dinámica del crecimiento y comparar el comportamiento de las líneas en estudio.

Medición del potencial hídrico en las hojas. En esta medición se utilizó el método de la bomba de presión.

Medición de la resistencia a la difusión. Utilizando el porómetro de difusión.

La medición del potencial del agua en la hoja y la resistencia a la difusión fueron hechas entre las 11:00 y 15:00 horas del día. Debido a que en este período de tiempo es cuando se manifiesta mayor sensibilidad a los diferentes estados energéticos del agua en la planta.

4. Resultados y discusión

Potencial hídrico en la planta (PHh)

En las **figuras 1 a 4** se muestra la relación entre el potencial hídrico en la hoja (PHh) y el tiempo para los diferentes tratamientos del potencial hídrico en el suelo (PHs) en las dos líneas estudiadas. En general, se observó que la L1 mantuvo menor "PHh" en todo el ciclo para las cuatro condiciones de humedad, encontrándose diferencias de -0.1 a -0.3 MPa.

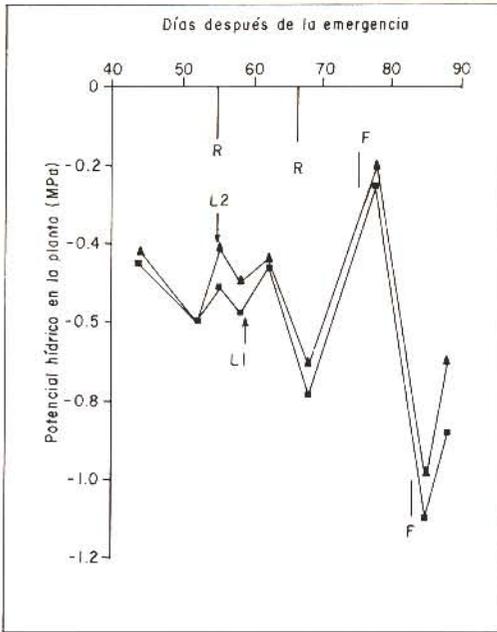


Figura 1. Variación del potencial hídrico a través del tiempo en el T1. Media de 8 obs.

Entre los tratamientos de "PIIs" se encontraron diferencias alrededor de -0.6 MPa, desde la condición húmeda (T1) a la condición bajo sequía (T4). En este experimento también fue posible ver que el "PHh" disminuyó gradualmente en todos los tratamientos hasta aproximadamente los 55 días después de la emergencia, lo cual puede ser atribuible a la humedad residual existente en el suelo; después se observó un descenso del "PHh" en los tratamientos bajo sequía antes de la floración (T2 y T4).

En el tratamiento T2 (**Figura 2**) se puede ver el efecto que tuvo el riego después de la floración, ya que se observa la recuperación de "PIH"; también se aprecia que la L2 alcanza un potencial más alto. En el tratamiento T3 (**Figura 3**) se puede ver el efecto que tiene la interrupción del riego sobre los dos materiales de sorgo, las dos líneas disminuyeron drásticamente el "PIH", lo cual puede ser un posible indicador de que el sorgo es muy sensible al déficit de humedad cuando no ha sido sometido a algún grado de estrés anterior. Esto se puede confirmar con lo que se observa en la **figura 4**, pues cuando el cultivo estuvo siempre bajo estrés (T4), el "PIH" disminuyó gradualmente conforme transcurrió el tiempo; sin embargo, alrededor de los 70 días después de la emergencia, el potencial disminuyó más lentamente. Según Henckel (1964) las plantas precondicionadas a la sequía son capaces de mantener mayores potenciales.

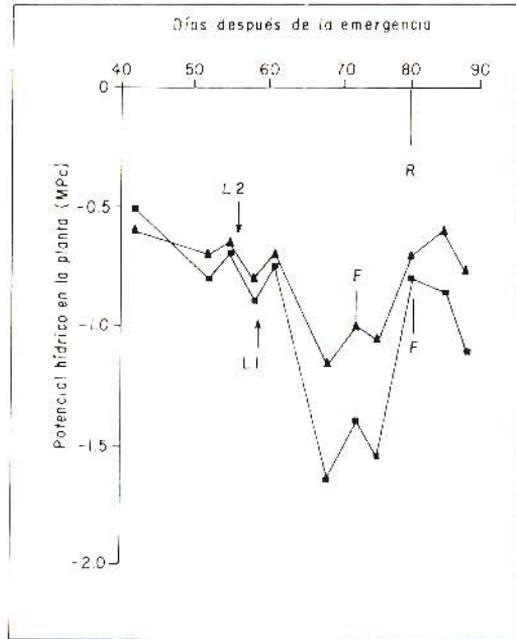


Figura 2. Variación del potencial hídrico a través del tiempo en el T2. Media de 8 obs.

Resistencia a la difusión (RD)

Durante el período anterior a la floración se observó (**Figura 5**) que las dos líneas tuvieron una resistencia a la difusión del vapor de agua en la hoja de alrededor de 6 seg cm^{-1} en un rango del "PIH" de -0.4 a -0.8 MPa. La L1 mostró un rápido incremento de la "RD" alrededor de -1.0 MPa, mientras que en la L2 fue a -0.6 MPa, esto significa que para un mismo nivel del potencial hídrico en la hoja, las líneas muestran diferente resistencia. Como puede verse, la L2 inicia el control estomatal a potenciales más altos que la L1, esto

puede deberse a que la L2 tiene mayor sensibilidad estomatal, lo que constituye un mecanismo de tolerancia a la sequía (Muñoz, 1983).

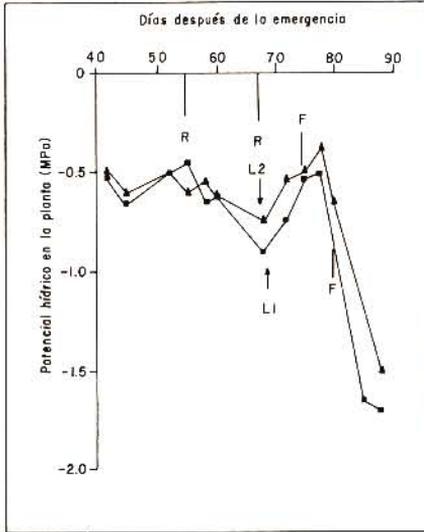


Figura 3. Variación del potencial hídrico a través del tiempo en el T3. Media de 8 obs.

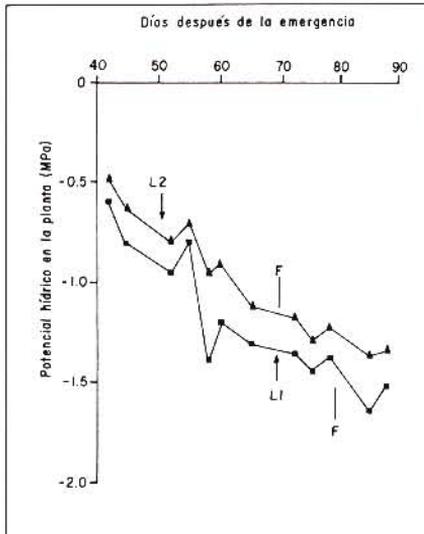


Figura 4. Variación del potencial hídrico a través del tiempo en el T4. Media de 8 obs.

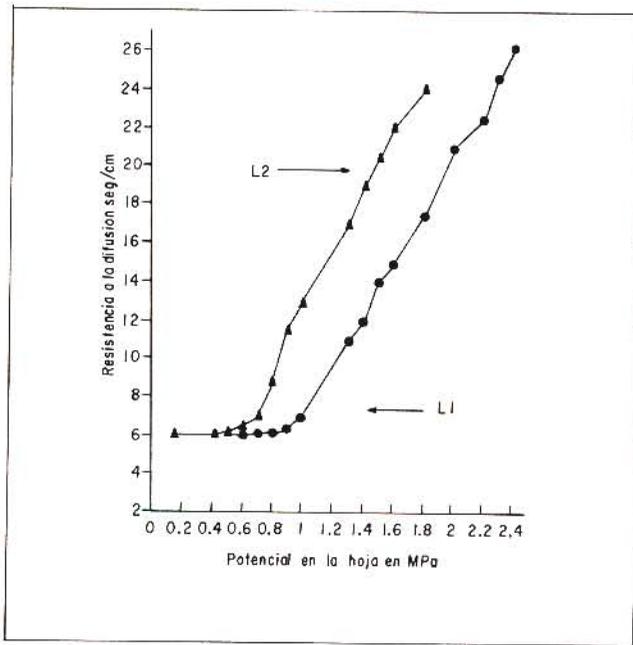


Figura 5. Relación entre el potencial hídrico en la hoja y la resistencia estomatal a la difusión en las dos líneas estudiadas. Media de 20 obs.

Tasa de asimilación neta (TAN)

En la **figura 6** se muestra el efecto del riego después de la floración (T2) sobre la TAN en las dos líneas, en esta figura se aprecia claramente que las dos líneas responden a la aplicación del riego, sin embargo, la L2 mostró mayor capacidad de respuesta. Este hecho pone de manifiesto que la L2 tiene mayor incremento de su peso seco total con respecto al incremento del área foliar.

En la **figura 7** se presenta el efecto que tiene la interrupción del riego en la etapa posterior a la floración (T3), donde se puede observar que hasta aproximadamente los 96 días (estado masoso del grano), la L2 tiene mayor TAN; después de esta fecha, declina abruptamente, en tanto que la L1 tiende a aumentar, esto posiblemente se debe a que aun a pesar de que no se aplicó el riego, la L1 aumentó en mayor medida su peso total en este período.

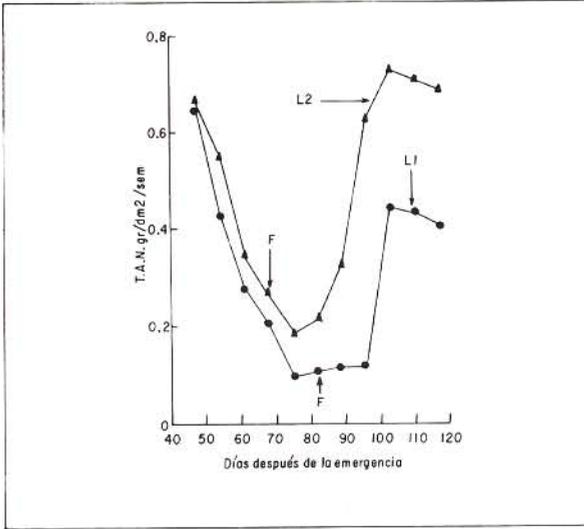


Figura 6. Tasa de asimilación neta de las dos líneas en función del tiempo para el T2
Media de 20 obs.

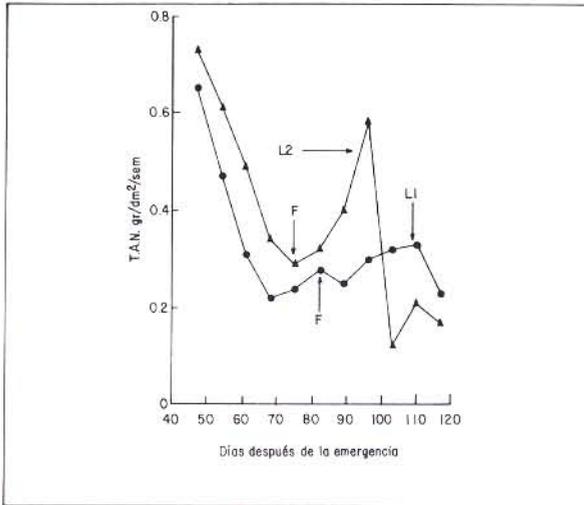


Figura 7. Tasa de asimilación neta de las dos líneas en función del tiempo para el T3.
Media de 20 obs.

Altura

El efecto de los tratamientos del "PHs" sobre la altura total de la planta se muestra en la **figura 8**, en ella se puede observar que el efecto de la humedad se manifiesta alrededor de los 40 días después de la emergencia en la L1 y alrededor de los 47 días en la L2. En general, los tratamientos húmedos antes de la floración (T1 y T3) fueron los que mayor altura alcanzaron y en cuanto a las líneas, la que mayor altura alcanzó fue la L2.

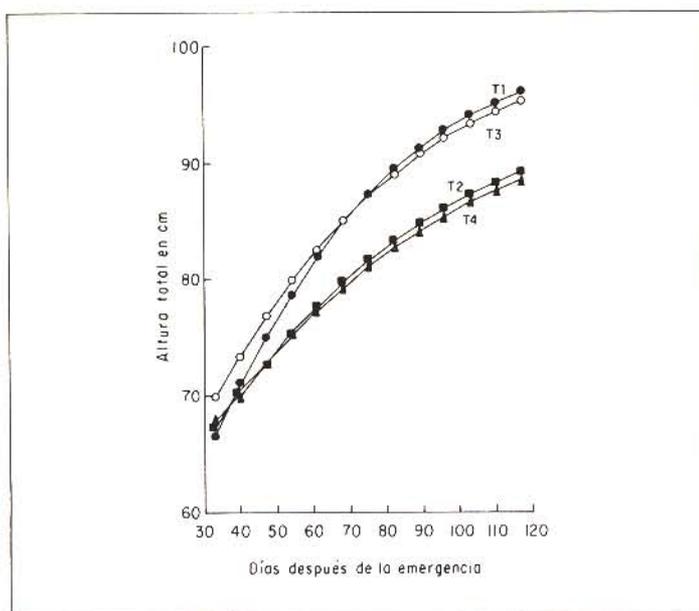


Figura 8. Altura total en función del tiempo para los cuatro tratamientos de humedad en el suelo en la L1.

Area foliar

Se realizó el análisis estadístico para esta variable y no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos del "PHs", pero sí para los materiales de sorgo en las etapas investigadas. En la **figura 9** se muestra la variación media del área foliar en función del tiempo de las dos líneas, como puede verse, la L1 fue la que más área foliar total presentó en las etapas fenológicas aquí analizadas.

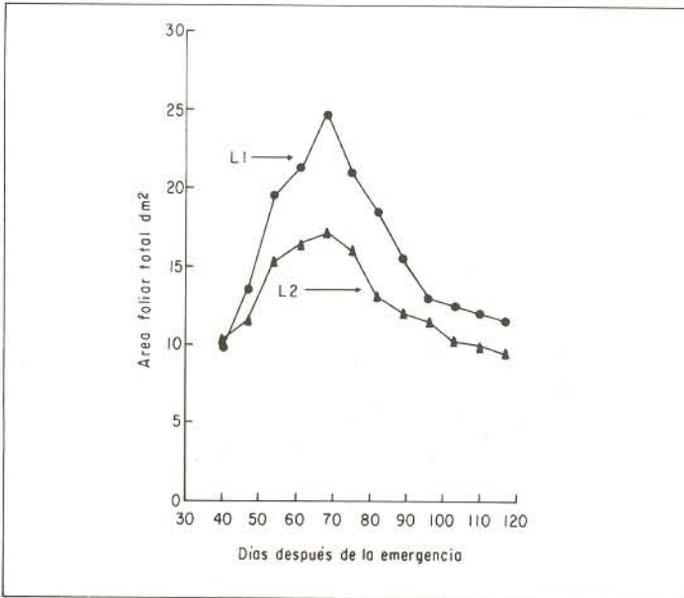


Figura 9. Desarrollo del área foliar total en función del tiempo de las dos líneas de sorgo. Media de 20 obs.

Acumulación del peso seco de la parte aérea de la planta y su partición

En la **figura 10** se muestra la partición de la materia seca de las diferentes partes de la planta (hoja, tallo y panoja); como puede observarse, la línea L1 siempre tuvo más hojas durante todo el ciclo del cultivo. En la etapa vegetativa se detectó que la L2 tuvo más peso de tallo; sin embargo, en el momento de la aparición de la panoja, disminuyó la proporción en el tallo, pero hubo mayor incremento en la panoja; en la floración no se apreciaron diferencias entre las líneas; en la madurez fisiológica se observaron diferencias entre ellas, siendo la L1 la que tuvo mayor peso del tallo.

Lo anterior puede ser un indicio de que la L2 tiene mayor capacidad de traslocación de solutos hacia la panoja; en cambio la L1 utiliza demasiada energía en el sostenimiento de las hojas y tallo, lo cual parece ser que disminuye su capacidad de traslocación de fotosíntatos hacia la panoja.

Rendimiento de grano

El rendimiento de grano se vio afectado por los tratamientos del "PHs" y se pudo ver que conforme se incrementó el nivel de estrés en el suelo, disminuyó el rendimiento. En el **cuadro 2** se presentan las medias del rendimiento por tratamiento del "PHs", en este cuadro se puede ver que el efecto de la sequía en las dos etapas reduce el rendimiento; como puede

verse, el tratamiento (T1) fue el que mayor rendimiento produjo, alrededor de 5 000 kg/ha, contra 3 000 kg/ha del tratamiento (T4), esto significa una reducción de alrededor de un 40%.

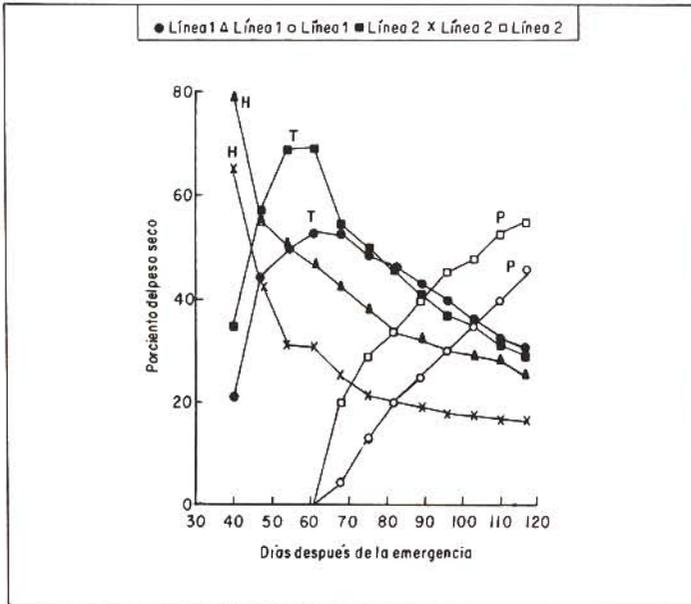


Figura 10. Porcentaje del peso seco total de las diferentes partes de las plantas de las dos líneas estudiadas. H hojas, P panoja. Media de 20 obs.

Cuadro 2. Medias del rendimiento para los tratamientos del “PHs”

Niveles del “PHs”			
	DF		Efecto de la sequía AF
AF	-0.08	-1.4	
-0.08	4949.3a	4180.1b	4564.7
-1.4	3849.4b	3016.9c	3433.2
Efecto de la sequía	4399.35	3598.5	
DF			

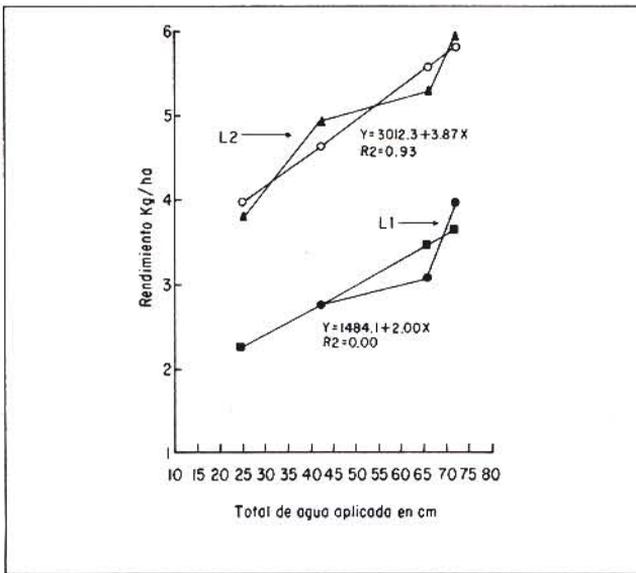
Los valores con la misma letra son iguales a 5% de probabilidad según Tukey.

En el cuadro 3 se muestran los rendimientos medios de las dos líneas estudiadas; se puede observar que el mayor rendimiento lo tuvo la L2, 39% más que la L1.

Cuadro 3. Medias del rendimiento y número de granos por panoja de las dos líneas estudiadas

Líneas	Rendimiento de grano (kg/ha)	Número de granos por panoja
L1	3018.8	690.1
L2	4979.1	1387.7

En la **figura 11** se muestra la relación que existe entre la cantidad total de agua aplicada a cada uno de los tratamientos y el rendimiento; como puede verse, existe una relación lineal entre estas dos variables; entre las líneas se observa que la L2 tiene mayor incremento en el rendimiento por cada unidad de agua aplicada, lo cual se observa en la pendiente de la línea de regresión.

**Figura 11.** Rendimiento de grano de las dos líneas de sorgo en función de la cantidad de agua aplicada.

Por lo que respecta a la eficiencia en el uso del agua por la planta (**figura 12**), se detectó que los tratamientos bajo sequía antes de la floración tuvieron mayor eficiencia, lo cual se puede relacionar con la resistencia a la difusión del vapor de agua, ya que en estos tratamientos se detectó mayor resistencia; en cuanto a las líneas, se aprecia que la L2 fue más eficiente en el uso del agua, bajo cualquier condición de humedad.

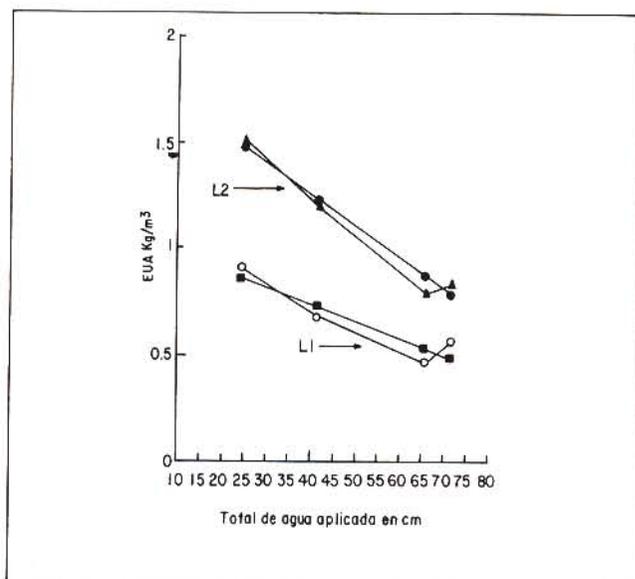


Figura 12. Eficiencia en el uso del agua en función de la cantidad de agua aplicada.

5. Conclusiones

Se observó estrecha relación entre el potencial hídrico en la planta y la resistencia a la difusión del vapor de agua, ya que en todos los casos al disminuir el potencial hídrico la resistencia se incrementó.

La L2 mostró hipersensibilidad estomática, respecto a la L1, dado que los estomas se cerraron a potenciales hídricos más altos, favoreciendo en una mayor eficiencia en el uso del agua.

La sequía durante la etapa vegetativa afectó la altura de la planta, ya que a pesar de la aplicación del riego después de la floración no se observó incremento en la altura.

La L1 siempre mantuvo mayor proporción de hojas y área foliar ocasionando con ello mayores requerimientos de agua, lo que se reflejó en menor rendimiento de grano y menor eficiencia en el uso del agua.

El mayor rendimiento de la L2 estuvo asociado a su mayor capacidad de acumular tallo en la etapa vegetativa y posiblemente a una mayor intensidad fotosintética durante el llenado de grano, así como a la mayor eficiencia en el uso del agua.

Dado que la L2 mostró mayor tasa de asimilación neta, lo cual es un reflejo de mayor eficiencia fotosintética, por el mantenimiento del potencial hídrico en la hoja más alto, por tener mayor sensibilidad estomática y por la mayor capacidad de recuperación, se puede considerar a esta línea como resistente a la sequía.

En cuanto al rendimiento de grano, el escenario de estrés hídrico más drástico (T4) produjo alrededor de 3 000 kg/ha, mientras que el mejor escenario (T1) fue de 5 000 kg/ha.

Con la metodología evaluada es posible identificar la respuesta del cultivo a diferentes escenarios de ambiente físico diferenciados por el estrés hídrico en el suelo.

Referencias

- Beltrán, B. M. (1990), Evaluación de la sequía intraestival en el estado de Morelos, tesis profesional, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México, 34 pp.
- Blum, A. (1974), "Genotypic responses in sorghum to drought stress. I. Response to soil moisture stress", *Crop Sci.*, 14:361-364.
- Denmead, O. T. y R. H. Shaw (1960), "The effects of soil moisture stress at different stages of growth on development and yield of corn", *Agron. J.*, 52:272-274.
- Foster, K. W. y V. K. Weng (1979), "Response to sorghum genotypes to drought induced by differential irrigation", *Sorghum Newsletter*, 25:22-24.
- Gay, C., L. Menchaca y C. Conde (1991), "El efecto invernadero y México", *Ciencia*, 22:3-10.
- Henckel, P. A. (1964), "Physiology of plants under drought", *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 15:363-386.
- Hounam, C. E. (1970), Definiciones de sequía, UNESCO, Seminario Regional sobre la Hidrología de las Sequías. Decenio Hidrológico Internacional, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Agraria de la Molina.
- Liverman, D. (1992), "The regional impact of global warming in Mexico", in Schmandt, J. y J. Clarkson (eds.), *The Regions an Global Warming*, Oxford University Press.
- Muñoz, O. A., K. R. Stevenson, J. Ortiz, G. W. Thurtell y A. Carballo (1983), "Transpiración, fotosíntesis, eficiencia en uso de agua y potencial hídrico en maíces resistentes a sequía y a heladas", *Agrociencia*, 51:115-153.

- Reyna T., T. (1970), "Relaciones entre la sequía intraestival y algunos cultivos de México", *Serie Cuadernos*, Instituto de Geografía, UNAM, México, 65 pp.
- Reyna T., T. y G. Villegas (1978), "Sequía intraestival y consecuencias agrícolas en Coahuila", en *Memoria Congreso Nacional de Geografía Aplicada*, Soc. Mex. de Geog. y Estad., Saltillo, Coahuila, México, pp. 235-240.
- Vuelvas, C. M. A. (1987), Respuesta de dos líneas de sorgo a diferentes regímenes de humedad en el suelo en dos etapas fenológicas en el Bajío, tesis M. C. CP., Centro de Hidrociencias, Montecillos, Edo. de México, 109 pp.
- Vuelvas, C. M. A. y J. J. Arreola (1994), "Respuesta de dos líneas de sorgo a diferentes regímenes de humedad en Guanajuato", *Primer Taller de Estudio de País: México ante el cambio climático*, INE, US Country Studies Program Support Climate Change Studies, Coord. de la Inv. Científica, CCA.UNAM, Cuernavaca, Morelos, México.