

Termotolerancia en líneas de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para grano

Marisol Galicia-Juárez
Sugey Sinagawa-García
Adriana Gutiérrez-Diez
Héctor Williams-Alanís
Francisco Zavala-García[§]

Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Nuevo León. Francisco Villa s/n, Col. Ex Hacienda El Canadá, General Escobedo, Nuevo León. CP. 66050. Tel. 81 13404399, ext. 3515. (marisol.349@hotmail.com; ssinagawa@gmail.com; mcgudiez@aol.com; hectorwilliamsa@yahoo.com.mx).

[§]Autor para correspondencia: francisco.zavala.garcia@gmail.com.

Resumen

El clima extremo como el aumento de la sequía y altas temperaturas han tenido un impacto significativo en el rendimiento de los cultivos. Por lo tanto, es importante identificar caracteres en los genotipos de sorgo que les ayuden a disminuir el impacto de estos factores y les permita ser productivos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la tolerancia a calor de un grupo de líneas B y R de sorgo granífero bajo dos condiciones de humedad para seleccionar las mejores líneas tolerantes a calor. Se sembraron 28 líneas experimentales B y R el 30 de agosto de 2017 en Marín, NL, México. El experimento se sembró en un diseño completamente al azar con un arreglo en parcelas divididas y con dos repeticiones. El tratamiento de humedad bajo estrés hídrico se aplicó 43 días después de la siembra (DDS) por un periodo de cuatro semanas sin riego. Se tomaron datos de días a floración, daño a la membrana celular a 40 °C y contenido relativo de agua en hoja (CRA). Los resultados mostraron que el CRA no permitió establecer diferencias entre genotipos, mientras que el tratamiento de calor aplicado a 40 °C, permitió establecer diferencias y clasificarlos de acuerdo con el porcentaje de daño causado a la membrana celular, ya que este es uno de los rasgos ampliamente utilizado para seleccionar genotipos tolerantes. Se identificaron como tolerantes al calor los genotipos 20 y 22 y como susceptibles los genotipos 5 y 8.

Palabras clave: *Sorghum bicolor* (L.) Moench., daño a la membrana celular, estrés hídrico, tolerancia a calor.

Recibido: noviembre de 2019

Aceptado: enero de 2020

El cambio climático se ha convertido en un obstáculo para el desarrollo de la agricultura en todo el mundo, cambios en la intensidad del clima extremo como las inundaciones y la sequía, han tenido un impacto significativo en los rendimientos de los cultivos (Menezes *et al.*, 2015). Una de las opciones para fortalecer la seguridad alimentaria es el cultivo de sorgo granífero [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. Es el quinto cereal más cultivado y consumido en el mundo y presenta adaptación a los ambientes de baja precipitación y altas temperaturas (FAO, 2016).

El noreste de México, que comprende Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila y San Luis Potosí, es la región con mayor producción de sorgo con 800 000 ha sembradas anualmente (SIAP, 2019), donde predominan las siembras con semillas híbridas, las cuales son desarrolladas para ambientes favorables al cultivo y son de alto costo en el mercado debido a que son producidas en EE. UU, resultando nuestro país dependiente de este insumo (Flores-Naveda *et al.*, 2013). Los caracteres poligénicos de la tolerancia a estrés abiótico en particular el hídrico y térmico han tenido limitaciones para la mejora genética (Bahuguna *et al.*, 2015), es importante utilizar técnicas sencillas, rápidas y económicas que permitan la obtención de nuevas variedades mejor adaptadas a condiciones de sequía y temperaturas elevadas (Dhanda *et al.*, 2007).

La coexistencia de estrés por calor y sequía afecta los procesos bioquímicos y fisiológicos de las plantas, incluida la función de la membrana celular, por lo que el aumento de la permeabilidad y la fuga de los iones fuera de la célula, se han utilizado como una medida de la estabilidad de la membrana celular y como una prueba relacionada por tolerancia al estrés (ElBasyoni *et al.*, 2017). La estabilidad térmica de la membrana puede ser un criterio de selección importante para la tolerancia al estrés por calor (Hemantaranjan *et al.*, 2014) y el contenido relativo de agua es considerado un mecanismo de resistencia a la sequía (Ritchie *et al.*, 1990).

El objetivo de este experimento fue evaluar líneas B y R de sorgo para grano bajo dos condiciones de humedad, buen riego y bajo estrés hídrico, mediante la utilización de técnicas sencillas y económicas que permitan un mayor conocimiento sobre los mecanismos de tolerancia al calor y sequía, con la finalidad de identificar líneas de sorgo para la formación de híbridos con una mejor respuesta a condiciones de estrés.

El experimento se estableció el 30 de agosto de 2017 en el ciclo primavera-verano, dentro del campo experimental de la Facultad de Agronomía perteneciente a la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Ubicado en Marín Nuevo León, México, con ubicación geográfica 25° 52' latitud norte 100° 02' longitud oeste, a 355 msnm. Las temperaturas promedio durante la evaluación fueron 29.4 °C máx y 17.3 °C mín (CONAGUA, 2017). Se utilizaron 26 líneas elite experimentales; 11 líneas B y 15 líneas R y 2 híbridos comerciales. Los genotipos se establecieron en macetas con un diámetro de 25 cm y altura de 55 cm, utilizando una mezcla de suelo de 2/3 de arena de río y 1/3 de gallinaza. En la siembra se colocaron tres semillas en el centro de la maceta a una profundidad de 3 cm y se raleo para tener una planta por maceta.

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con arreglo en parcelas divididas y dos repeticiones. La parcela grande fueron los tratamientos de humedad (buen riego y bajo estrés hídrico) y la parcela chica se asignó a los genotipos; se consideró como unidad experimental una maceta por genotipo. El tratamiento de humedad bajo estrés hídrico consistió en la suspensión del riego de las macetas 43 días después de la siembra (DDS) por un periodo de cuatro semanas, contrario al tratamiento de buen riego en el cual se aplicó agua cada tercer día.

Los niveles de humedad en las macetas, se determinó con un tensiómetro Aquaterr® modelo EC-350 a intervalos promedios de 5 días, la barra del tensiómetro se colocó a una profundidad de 15-20 cm; después de cada medición, la barra se limpió para evitar la contaminación de suelo y humedad entre unidades experimentales. Las variables evaluadas fueron: días a floración (DF); considerando el número de días transcurridos desde la siembra hasta que la mitad de la panoja se encontraba con las anteras expuestas. Porcentaje de daño a la membrana celular a 40 °C (DMC 40), mediante el procedimiento descrito por Blum y Eberconm (1981) y utilizando la siguiente ecuación.

$$\%DMC=1-\left\{\frac{\left[1-\left(\frac{T1}{T2}\right)\right]}{\left[1-\left(\frac{C1}{C2}\right)\right]}\right\}*100$$

Donde: T= tratamiento; C= control o testigo; 1= medición de CE inicial; 2= medición de CE final.

El contenido relativo de agua en hoja (CRA); Se adaptó la técnica utilizada por Sade *et al.* (2015) y se utilizó la siguiente ecuación.

$$\%CRA=\left\{\frac{[(TFW-BW)-DW]}{[TW-DW]}\right\}*100$$

Donde: BW= bolsa de plástico ziploc etiquetada y pesada inicialmente; TFW= peso fresco de la hoja + BW; TW= Peso turgente y DW= peso seco de la hoja.

Los análisis estadísticos se efectuaron mediante el paquete InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2008). Se realizó una prueba de t de Student ($p \leq 0.05$) para comparar los tratamientos de humedad. Se aplicó una transformación angular [arcoseno (Y_i)^{1/2}] a los datos porcentuales (Y_i) de DMC a 40 °C y CRA. Se realizó un análisis de varianza y donde fue necesario se hizo una comparación de medias por Tukey ($p \leq 0.05$) de los tratamientos y los genotipos, presentando los resultados con los valores retransformados a la escala original (porcentajes).

Los tratamientos de humedad aplicados fueron diferentes de acuerdo con la prueba t de Student, la cual fue significativa (valor $p \leq 0.01$) con valores de media de 87.7% de humedad para buen riego y 80.9% de humedad bajo estrés hídrico. El análisis de varianza presentó diferencias significativas para condiciones de humedad en todas las variables (DF, DMC 40 y CRA), así como para genotipos e interacción genotipo x condición humedad solo en las variables DF y DMC 40.

En el Cuadro 1, la prueba de medias por Tukey para condición de humedad presenta para la variable DF, un valor de media de 69 días en buen riego y de 75 días bajo estrés hídrico. Resultados similares del retraso de floración debido al efecto de la sequía en sorgo fueron reportados por Hammer *et al.* (1989); Muchow y Carberry (1990); Craufurd y Peacock (1993).

Cuadro 1. Prueba de medias Tukey de las variables evaluadas bajo dos condiciones de humedad.

Condición	DF (d)	DMC 40 (%)	CRA (%)
Bajo estrés hídrico	75 b	7.8 a	67.6 a
Buen riego	69 a	21.3 b	88.6 b

DF= días a floración; DMC 40= daño de la membrana celular a 40 °C y CRA= contenido relativo de agua. Valores con la misma letra en cada columna no son diferentes estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$).

Las plantas se adaptan al estrés utilizando diferentes mecanismos que implican cambios en el patrón morfológico y del desarrollo, así como procesos fisiológicos y bioquímicos (Mutava *et al.*, 2011). El retraso en la fecha de floración mejora el rendimiento en condiciones de estrés por sequía al aumentar el número de días disponibles para la fotosíntesis y la acumulación de materia seca en el sorgo (Alhajturki *et al.*, 2012). Para el caso del daño a la membrana celular a 40 °C bajo estrés hídrico mostró el valor de media más bajo (7.8) comparado con la condición de buen riego (21.3). Lo cual pudo ser debido a la existencia de un ajuste de la estabilidad de la membrana celular al estrés hídrico de acuerdo con Águeda (2008).

Para el caso de la variable contenido relativo de agua, esta presentó una media de 67.6% bajo estrés hídrico debido a que el CRA es la expresión más usada para medir el nivel de agua de un tejido con respecto al total de agua que este puede almacenar, y es directamente proporcional a la disponibilidad hídrica del suelo, por lo que la condición de buen riego obtuvo una mayor media (88.6%). Castro *et al.* (2000) encontraron un comportamiento similar del contenido relativo de agua en hoja al evaluar 29 genotipos de sorgo para grano en condiciones de sequía y riego, con valores de media de 72.8 y 82.2%, respectivamente.

La diferencia en el contenido relativo de agua de los cultivares que sufren estrés por sequía, puede deberse a su capacidad de mayor absorción de agua del suelo o la capacidad de los estomas, para reducir la pérdida de agua (Keyvan, 2010). Debido a que la interacción condición x genotipo fue significativa para en las variables DF y DMC 40, la prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) de los genotipos se realizó en forma independiente para cada condición (buen riego y bajo estrés hídrico) que se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Valores de medias de los genotipos y prueba de medias para la interacción condición*genotipo.

Genotipos	Tipo de línea	Con interacción				Sin interacción CRA
		Buen riego		Bajo estrés hídrico		
		DF	DMC 40	DF	DMC 40	
LES-1	R	71 ac	39.9 a	93 ab	5.4 ab	80.5
LES-2	R	75 bc	15.7 a	67 ab	5.6 ab	82.4
LES-3	B	64 ab	13.4 a	61 ab	10.1 ab	78.8
LES-4	B	72 bc	12.6 a	92 ab	13.5 ab	77.7
LES-5	B	69 ac	33 a	68 ab	14.7 ab	91.6
LES-6	B	70 ac	5.1 a	78 ab	5.9 ab	67.2
LES-7	B	67 ab	7.6 a	58 ab	12.9 ab	96.5
LES-8	B	59 ab	31.5 a	67 ab	20.4 b	88.5

Genotipos	Tipo de línea	Con interacción				Sin interacción CRA
		Buen riego		Bajo estrés hídrico		
		DF	DMC 40	DF	DMC 40	
LES-9	B	63 ab	5.9 a	61 ab	2.9 ab	65.7
LES-10	R	59 ab	20.3 a	69 ab	22 b	62
LES-11	R	65 ab	19.2 a	78 ab	8.1 ab	68.3
LES-12	R	69 ac	15.7 a	94 ab	12.3 ab	81.4
LES-13	R	68 ab	22.1 a	61 ab	10.8 ab	80.4
LES-14	R	68 ab	26.2 a	101 b	8.9 ab	68
LES-15	R	73 bc	6 a	88 ab	3.8 ab	77.3
LES-16	R	69 ac	37.2 a	66 ab	11.7 ab	80.6
LES-17	R	67 ab	39.3 a	65 ab	11.7 ab	88.1
LES-18	R	64 ab	16.3 a	64 ab	12.4 ab	77.4
LES-19	R	89 c	16.7 a	104 b	13.3 ab	78.5
LES-20	R	60 ab	24 a	63 ab	0.55 a	73.4
LES-21	B	75 bc	34.7 a	86 ab	8 ab	87.6
LES-22	B	70 ac	43.3 a	80 ab	0.77 a	91.7
LES-23	B	77 bc	32.3 a	85 ab	2.9 ab	67.6
LES-24	B	74 bc	23.5 a	86 ab	6.2 ab	74.6
LES-25	R	51 a	35.4 a	51 a	9.6 ab	88
LES-26	R	69 ac	25.6 a	80 ab	3.6 ab	73
TES 1-27	Híbrido	71 ac	5.9 a	85 ab	3.5 ab	73
TES 2-28	Híbrido	79 bc	21.9 a	54 a	14.5 ab	73.2

DF= días a floración; DMC 40= daño de la membrana celular a 40 °C y CRA= contenido relativo de agua. Valores con la misma letra en cada columna no son diferentes estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$).

La prueba de medias para genotipos en la variable DF bajo condiciones de riego, evidencia dos grupos, uno de 20 genotipos (precozes) con un rango de floración de 51-71 días y otro de ocho genotipos (tardíos) con un rango de 72-79 días. En el caso del estrés hídrico, los genotipos se agruparon también en dos categorías, 26 genotipos (precozes) en un rango de floración de 51-94 días y 2 genotipos considerados tardíos con 101 y 104 días a floración.

Destaca el genotipo 25 con el valor de media más bajo (51 días) para ambas condiciones de humedad, esto se explica porque al ser el genotipo más precoz e iniciar el estrés hídrico 43 DDS no se logró afectar esta variable. Las diferencias de los días a floración entre los genotipos en cada una de las condiciones, es debido a que son líneas experimentales adaptadas en diferentes regiones del país como Valles Altos Centrales, Bajío y Noreste del país.

Para el caso de la variable DMC 40 y ser significativa la interacción, el análisis de medias en la condición de buen riego no presentó diferencias significativas entre genotipos, mientras que bajo estrés hídrico se identificaron dos grupos de genotipos; el primero con dos genotipos (20 y 22) con valores de 0.55 y 0.77% que representaron el de menor daño; el otro grupo con 26 genotipos incluyó un rango de 2.9-22% de DMC 40.

Este parámetro es un indicador de la tolerancia al calor, por lo que valores bajos indican alta termoestabilidad de la membrana, mientras que valores altos indican baja termoestabilidad, lo que puede ser un criterio de selección indirecta para la tolerancia al calor (Blum *et al.*, 2001; Morales *et al.*, 2015). Así también, es uno de los rasgos secundarios que se utiliza para estudiar la sequía y el estrés por calor, ya que es un rasgo cuantitativo que es moderadamente heredable con una alta correlación genética con el rendimiento de grano, por lo que se utiliza ampliamente para seleccionar genotipos tolerantes (ElBasyoni *et al.*, 2017).

En la variable CRA la prueba de medias de los genotipos no presentó diferencias significativas entre genotipos presentando una media de 78.3%. De acuerdo con Yamasaki y Rebelo (1999), el contenido relativo de agua en hoja es la medida del estado hídrico actual de la hoja relacionada con su máxima capacidad de retención de agua en completa turgencia, el cual puede ser indicativo del grado de estrés expresado bajo sequía y calor.

Conclusiones

El daño a la membrana celular a 40 °C logró clasificar los genotipos 20 y 22 como tolerantes y a los genotipos 5 y 8 como susceptibles. El contenido relativo del agua fue menor en la condición de bajo estrés hídrico; sin embargo, entre genotipos no presento diferencias significativas que ayuden a identificar su tolerancia a estrés hídrico. Los días a floración de los 28 genotipos fueron menores en la condición de buen riego. La prueba de medias para genotipos en la variable DF, muestra al genotipo 25 con la media más baja (51 días) en ambas condiciones, mientras que el genotipo 19 tuvo el promedio más alto (89 días para riego y 104 días para sequía respectivamente).

Literatura citada

- Águeda, G. 2008. Técnicas de interés en la mejora de cebadas tolerantes a la sequía y temperaturas elevadas. I. Estabilidad de las membranas celulares. España. Agroecología. 1(3):55-60.
- Alhajturki, D.; Aljamali, M.; Kanbar, A. and Azmah F. 2012. Potential of some sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes under two wáter regimes for sugar and bio-ethanol production. Switzerland. Sugar Tech. 14(4):376-382.
- Bahuguna, N. R. and Jagadish, S. V. K. 2015. Temperature regulation of plant phenological development. Philippines. Environ. Exp. Bot. 1(111):83-90.
- Blum, A. and Eberconm, A. 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. USA. Crop Sci. 1(21):43-47.
- Blum, A.; Klueva, N. and Nguyen, H. T. 2001. Wheat cellular thermotolerance is related to yield under heat stress. Netherlands. Euphytica. 2(117):117-123.
- Castro, N. S.; Ortíz, C. J.; Mendoza, C. M. C. and Zavala, G. F. 2000. Biomass production in sorghum in response to drought stress. México. Rev. Fitotec. Mex. 23(2): 321-334.
- CONAGUA. 2017. Comisión Nacional del Agua. Estación meteorológica ejido Marín, Nuevo León. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=nl>.
- Craufurd, P. Q. and Peacock, J. M. 1993. Effect of heat and drought stress on sorghum (*Sorghum bicolor*) II. Grain yield. Great Britain. Expl. Agric. 29(1):77-86.
- Dhanda, S. S.; Behl, K. R.; Shinano, T. and Osaki, M. 2007. Wheat improvement under water deficit conditions in semi-arid tropics and subtropics. Nigeria. Tropics. 16(2):181-190.

- Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M. y Robledo, C. W. 2008. InfoStat versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.
- ElBasyoni, I.; Saadalla, M.; Baenziger, S.; Bockelman, H. and Morsy, S. 2017. Cell membrane stability and association mapping for drought and heat tolerance in a worldwide wheat collection. Switzerland. Sustainability. 9(1):1-16.
- FAO. 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. ProdStat database, yearly production. <http://faostat.fao.org>.
- Flores-Naveda, A.; Valdés-Lozano, C. G. S.; Zavala-García, F.; Olivares-Sáenz, E.; Gutiérrez-Díez, A. y Vázquez-Badillo, M. E. 2013. Comportamiento agronómico de líneas para la producción de semilla de sorgo. Costa Rica. Agron. Mesoam. 1(24):111-118.
- Hammer, G. L.; Vanderlip, R. L.; Gipson, G.; Wade, L. J.; Henzell, R. G.; Founger, D. R.; Warren, J. and Dale, A. B. 1989. Genotype-by-environment interaction in grain sorghum II. Effects of temperature and photoperiod on ontogeny. USA. Crop Sci. 29(2):376-384.
- Hemantaranjan, A.; Bhanu, N. A.; Singh M. N.; Yadak, D. K.; Patel, P. K.; Singh, R. and Katiyar D. 2014. Heat stress responses and thermotolerance. India. Adv. Plants Agric. Res. 1(3):62-70.
- Keyvan, S. 2010. The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. Kenya. J. Animal Plant Sci. 3(8):1051-1060.
- Menezes, C. B.; Saldanha, D. C.; Santos, C. V.; Andrade, L. C.; Mingote, J. M. P.; Portugal, A. F. and Tardin, F. D. 2015. Evaluation of grain yield in sorghum hybrids under water stress. Gen. Mol. Res. Brazil. 14(4):12675-12683.
- Morales, T. A.; Morales, R. A.; Rodríguez, S. D. y Rodríguez, M. S. J. 2015. Estabilidad de la membrana celular para estimar tolerancia a la sequía en variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). Cuba. Rev. Avanzada Científica. 1(18):1-9.
- Muchow, R. and Carberry, P. S. 1990. Phenology and leaf-area development in tropical grain sorghum. Netherlands. Field Crops Res. 3(23):221-237.
- Mutava N. R.; Prasad V. V. P.; Tuinstra R. M.; Kofoid, D. K. and Yu, J. 2011. Characterization of sorghum genotypes for traits related to drought tolerance. USA. Field Crops Res. 1(123):10-18.
- Ritchie, S. W.; Nguyen H. T. and Holaday, A. S. 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Sci. 30:105-111.
- Sade, N.; Galkin, E. and Moshelion, M. 2015. Measuring arabidopsis, tomato and barley leaf relative water content (RWC). USA. Bio-protocol. 8(5):1-4.
- SIAP. 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera <http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola-siap-gobmx/ResumenDelegacion.do>.
- Yamasaki, S. and Dillenburg, L. R. 1999. Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. Brazil. Rev. Brasileira de Fisiología Vegetal. 11(2):69-75.