

Rendimiento de grano en líneas de sorgo cultivadas bajo riego y riego limitado en Texas

Grain yield of sorghum lines planted under irrigation and limited irrigation in Texas

Flores-Naveda A¹, CGS Valdés-Lozano², WL Rooney³, E Olivares-Sáenz², F Zavala-García², A Gutiérrez-Díez², ME Vázquez-Badillo⁴

Resumen. El objetivo de este trabajo fue evaluar, bajo riego y riego limitado, el rendimiento de grano de 40 líneas F₇ de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) seleccionadas por tolerancia a sequía en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL) en Marín, Nuevo León, México. Los estudios se efectuaron en College Station, Texas, en el ciclo Otoño-Invierno 2011, y en Lubbock, Texas en el ciclo Primavera-Verano 2011. Las 40 líneas se dividieron en dos grupos de 20 genotipos para integrar dos experimentos, más cinco líneas experimentales y un híbrido comercial como testigo. Entonces, se estudiaron 26 tratamientos, con dos repeticiones. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con covarianza, con el número de plantas por parcela como covariable independiente y el rendimiento de grano de sorgo como variable dependiente. El rendimiento de grano por planta fue en general mayor en College Station que en Lubbock. En ambas localidades, tanto en riego como en riego limitado, se identificaron líneas F₇ cuyo rendimiento de grano fue estadísticamente superior a aquel del híbrido testigo y de las líneas que participaron en la cruce que dio origen a la F₂ de la cual se seleccionaron.

Palabras clave: Sorgo; Grano; Riego; Riego limitado; *Sorghum bicolor* L. Moench.

Abstract. The objective of this work was to evaluate, under irrigation and limited irrigation, the grain yield of 40 F₇ sorghum lines (*Sorghum bicolor* L. Moench) selected by tolerance to drought in the Facultad de Agronomía at the Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL) in Marín, Nuevo León, Mexico. Studies were conducted in College Station, Texas in the cycle Autumn-Winter 2011, and in Lubbock, Texas in the growing cycle Spring-Summer 2011. The 40 sorghum lines were divided into two groups of 20 genotypes each to integrate two experiments, and five more experimental lines and a commercial hybrid as a control. Thereafter, 26 treatments were studied, with two replications. A randomized complete block design with covariance, the number of plants by plot as the independent covariable and the sorghum grain yield as the dependent variable, was used. The grain yield by plant was generally higher in College Station than in Lubbock. In both locations, under irrigation and limited irrigation, several F₇ lines showed a significantly higher yield than the control hybrid and the parental lines that produced the F₂ from which the lines were selected.

Keywords: Sorghum; Grain; Irrigation; Limited irrigation; *Sorghum bicolor* L. Moench.

¹ Programa de Doctorado en Ciencias Agrícolas. Facultad de Agronomía. Área de Estudios de Posgrado. Universidad Autónoma de Nuevo León. Campus Ciencias Agropecuarias. Francisco Villa s/n. C.P. 66050. Col. Ex-hacienda. El Canadá. Escobedo, Nuevo León, México.

² Profesor investigador. Facultad de Agronomía. Área de estudios de Posgrado. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. e-mail: cigvalloz@hotmail.com, emolivares@gmail.com, francisco.zavalagr@uanl.edu.mx, mcgudiez@hotmail.com

³ Professor Sorghum Breeding and Genetics. Department of Soil & Crop Sciences. Texas A&M University. College Station, Texas, USA. 77843-2474. e-mail: wlr@tamu.edu

⁴ Profesor Investigador. Departamento de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. mario59ernesto@hotmail.com
Address Correspondence to: Antonio Flores Naveda, e-mail: naveda26@hotmail.com

Recibido / Received 4.III.2012. Aceptado / Accepted 30.III.2012.

INTRODUCCIÓN

El sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench es el quinto cereal más importante del mundo después del trigo, maíz, arroz y cebada FAO (2011). La semilla o carióspside de sorgo es una fuente importante de calorías y proteínas, y se utiliza en la dieta alimenticia de 500 millones de personas en más de 30 países de Asia y África (Gous, 1989; Dykes et al., 2005; ICR-ISAT, 2009).

Actualmente, se ha incrementado el interés en la utilización del grano de sorgo como fuente de energía en la elaboración de alimentos para consumo humano y animal. Así, el grano de sorgo sustituye al trigo en la panificación, y al maíz amarillo en la elaboración de alimentos balanceados (Clará y Rooney, 2009).

En Texas, durante el año 2007, se sembraron 1.112.885,5 hectáreas con una producción de 1.567,18 millones de toneladas de grano sorgo, con precipitaciones de 625 a 900 mm (Regional IPM Centers, 2008). Al sur del estado de Texas se encuentran las regiones productoras de sorgo para grano del Noreste de México, en los estados de Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila. En esta región, durante el año 2009, se sembraron 944.046 hectáreas de las cuales el 97,7% correspondieron al estado de Tamaulipas. La superficie sembrada en este estado fue de 922.763 ha, con una precipitación anual de 450 a 800 mm, y rendimientos bajo riego y temporal o secano de 4,5 y 2,2 ton/ha, respectivamente (SAGARPA, 2009).

La sequía reduce la producción potencial de los cultivos que no han evolucionado y que no se han seleccionado para maximizar la producción bajo condiciones limitantes de agua en el suelo (Mullet, 2008). El sorgo es un cultivo que presenta adaptación a los ambientes de baja precipitación y altas temperaturas (Elkin et al., 1996; Valdés y Flores, 2009). Por lo tanto, se siembra en regiones áridas y semi-áridas (Doggett, 1965) como las del Noreste de México. No obstante, el rendimiento de grano se reduce cuando la sequía es severa, lo cual ocurre en diversas partes del mundo (Rosenow et al., 1997).

En el cultivo de sorgo se han encontrado efectos positivos y negativos de la sequía sobre la producción de biomasa y el rendimiento de grano. Cuando la sequía se presenta durante la etapa vegetativa, se presentan efectos positivos, tales como altos niveles de ajuste osmótico (Sharp, 1994), mayor producción de biomasa a la antesis y, como consecuencia, un mayor rendimiento de grano (Ludlow y Muchow, 1990; Ludlow et al., 1990; Sankarapandian et al., 1993; Castro et al., 2000).

Los efectos negativos de la sequía con impacto en el rendimiento de grano dependen del momento en que ésta ocurra (Jamieson et al., 1995; Boonjung y Fukai, 1996), de su duración (Blum et al., 1989) y de su severidad (Lilley y Fukai, 1994). Así, un estrés hídrico durante la floración y el período de llenado de grano afecta negativamente el rendimiento, por lo que la planta es más susceptible a la sequía durante las etapas de formación de la panícula (Manjarrez, 1986) y llenado de grano (Fisher y Turner, 1978; Yang et al., 2000).

En áreas de temporal o secano, la sequía a menudo se presenta acompañada de altas temperaturas. La coincidencia de estas condiciones adversas durante la etapa reproductiva disminuye el rendimiento de grano (White y Singh, 1991; White e Izquierdo, 1991). Esto ocurrió en el cultivo de sorgo durante el ciclo de crecimiento Otoño-Invierno 2010-2011 en el estado de Tamaulipas, donde la producción se redujo en un 40% (Sánchez y Partida, 2011).

El aprovechamiento del agua de lluvia es fundamental en el cultivo del sorgo ya que la humedad puede ser almacenada en el perfil del suelo para ser utilizada por la planta durante sus etapas de desarrollo (Hammer, 2006; Van Oosterom et al., 2011). Esto sucede en Tamaulipas, donde los agricultores que siembran sorgo bajo temporal o secano utilizan arados de subsuelo para almacenar agua de lluvia en el perfil del suelo, prosperando el cultivo en épocas de baja precipitación. Esto es posible debido a la tolerancia del sorgo a la sequía (Rosenow y Clark, 1981; Chapman et al., 2000).

Algunos mecanismos asociados con tolerancia a sequía son los estomas más pequeños, cutículas serosas que reducen la pérdida de agua por las hojas, tolerancia post-floración al estrés por calor (Poehlman, 2005) y una mayor biomasa radical (Castro et al., 2000).

El estrés por agua durante la etapa de llenado de grano es muy común en los cultivos en diferentes lugares del mundo (Chapman et al., 2000). Un mecanismo de resistencia a la sequía en sorgo es cuando la planta permanece con sus hojas verdes después de la floración, durante el llenado de grano y hasta la madurez fisiológica, lo cual se denomina como no senescencia o "stay green" (Rosenow y Clark, 1981). Esta característica en el cultivo de sorgo está asociada con un rendimiento de grano aceptable (Belum et al., 2009).

El rendimiento de grano en ambientes limitantes de humedad con altas temperaturas se ha empleado en la selección para tolerancia a sequía en frijol (White et al., 1991). Esta selección se puede emplear para el mejoramiento genético del sorgo, bajo la consideración de que la resistencia o tolerancia a la sequía debiera ser expresada en términos de la habilidad de la planta para mantener el rendimiento de grano bajo estrés, así como una producción de biomasa e índice de cosecha altos (Fusell et al., 1991).

Para la formación de nuevas líneas e híbridos de sorgo con tolerancia a la sequía en los programas de mejoramiento se tiene el problema de definir los criterios de selección para condiciones de resistencia a la sequía. Algunos autores como Ludlow y Muchow (1990), Fukai y Cooper (1995) y Turner (1997) consideran que la utilización del rendimiento de grano *per se* bajo estrés por falta de humedad es inapropiado como criterio principal para la selección de genotipos resistentes. Esto es debido a que la resistencia o tolerancia a este factor adverso se encuentra influenciada por un gran número de caracteres fisiológicos y bioquímicos. No obstante, el rendimiento de grano bajo sequía es la última expresión práctica de la

acción de múltiples mecanismos morfológicos y fisiológicos, incluyendo los asociados con la resistencia a la sequía.

La comparación del rendimiento bajo riego y sequía, en sorgo y trigo, se ha calculado usando un índice de susceptibilidad a sequía. Este se expresa para cada genotipo como la reducción del rendimiento entre las condiciones de riego y sequía en relación a la media de reducción de todos los genotipos (Fisher y Maurer, 1978; Blum et al., 1991). Este es un criterio útil para seleccionar nuevos genotipos con un rendimiento aceptable bajo sequía.

En México se siembran anualmente alrededor de dos millones de hectáreas de sorgo para grano (SIAP, 2011). La mayoría de esta superficie se cultiva con híbridos, y las siembras con variedades de polinización libre no son significativas. No obstante, la principal ventaja de una variedad de sorgo es que la multiplicación de semilla la puede realizar el mismo agricultor. Esto permite reducir el costo en la producción de semilla, haciendo este insumo más accesible a los productores.

En México, el sorgo para grano se produce con híbridos, y sus líneas progenitoras se han seleccionado bajo condiciones de humedad favorables. En consecuencia, el potencial de rendimiento de los híbridos se expresa bien bajo condiciones favorables. Sin embargo, el rendimiento se reduce bajo condiciones de sequía. Por lo anterior, se considera que líneas seleccionadas bajo estos ambientes limitantes pueden no diferir en rendimiento de grano comparado con los híbridos comerciales.

El objetivo de este estudio fue evaluar el rendimiento de grano por planta de 40 líneas F_7 de sorgo bajo condiciones de riego (R) y riego limitado (RL) a partir del inicio de la floración, respecto a un híbrido comercial mayormente sembrado en el Noreste de México y Texas, y a las líneas que participaron como progenitores en la cruce de la cual se seleccionaron. Los estudios se efectuaron durante los ciclos Otoño-Invierno 2011 en College Station, y Primavera-Verano 2011 en Lubbock, Texas, EE.UU.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se realizó en las localidades de College Station y Lubbock, Texas. En College Station (Field Texas AgriLife Research Extension; 30° 35' 19" N, 96° 17' 46" O, 112 msnm) los estudios se efectuaron en el ciclo Otoño-Invierno 2011. El clima es subtropical templado, con verano cálido, temperatura promedio anual de 20 °C y una precipitación promedio anual de 990 mm. En Lubbock, los estudios se realizaron durante el ciclo Primavera-Verano 2011 en la Texas A&M Agricultural Research & Extension Center (33° 33' 59" N, 101° 53' 12" O). En este lugar, las temperaturas son extremas durante el verano, y la precipitación promedio anual es de 475 mm.

Se utilizaron 40 líneas experimentales F_7 de sorgo para grano, seleccionadas bajo condiciones de sequía. La selección

y el avance generacional de F_2 a F_7 se realizó con la aplicación del riego de pre-siembra en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía en Marín, Nuevo León, durante los ciclos agrícolas Otoño-Invierno, desde 2003 al 2009.

Para la siembra en campo, las líneas F_7 se dividieron en dos grupos de 20 líneas para integrar dos experimentos, donde además se incluyeron cinco líneas progenitoras de las cruces involucradas y el híbrido comercial P-84G11. Este híbrido es sembrado frecuentemente en el Sur de Texas, EE.UU, Tamaulipas y Nuevo León, México. Se estudiaron 26 tratamientos bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con dos repeticiones, sembrando bajo condiciones de riego (R) y riego limitado (RL) a partir del inicio de la floración.

Las parcelas se establecieron en un surco de 5,48 m de largo por 0,76 m de ancho. Se sembraron 3 gramos de semilla de sorgo en cada parcela experimental. Las siembras se realizaron el 23 de marzo 2011 en College Station, y el 17 de mayo 2011 en Lubbock, Texas. La cosecha del grano se realizó el 20 de julio 2011 en College Station, con una máquina combinada experimental. Se obtuvo el rendimiento de la parcela experimental al momento de la cosecha, que se dividió por el número de plantas cosechadas para estimar el rendimiento promedio por planta. En Lubbock, la cosecha de las panojas de sorgo se realizó el 14 y 17 de septiembre 2011 en forma manual.

El análisis estadístico se realizó con el programa SPSS versión 17 para la variable rendimiento de grano por planta en los experimentos uno y dos bajo R y RL en ambas localidades. Se utilizó el diseño de bloques completos al azar con covarianza, considerando como variable independiente el número de plantas cosechadas por parcela como covariable (x) y el rendimiento de grano por planta como variable dependiente (y). Se utilizó la DMS protegida de Fisher (Steel y Torrie, 1993), la cual requiere que antes de aplicarla en el análisis de varianza se detecte diferencia significativa entre tratamientos. La DMS se utilizó bajo la modalidad de rangos (Valdés et al., 1997).

RESULTADOS

Localidad de College Station, Texas. Los análisis de varianza para la variable rendimiento de grano por planta se presentan a continuación (Tablas 1 a 4) para los experimentos en R y RL en College Station. En la Tabla 5 se presenta la comparación por diferencia mínima significativa (DMS) para el rendimiento de grano promedio en gramos por planta de las líneas de sorgo en los experimentos 1 y 2 bajo riego (R) y riego limitado (RL) en dicha localidad.

Localidad de Lubbock, Texas. Los análisis de varianza para la variable rendimiento de grano por planta se presentan a continuación (Tablas 6 a 9) para los experimentos en R y RL en Lubbock. En la Tabla 10 se presenta la comparación por diferencia mínima significativa (DMS) para el rendimiento de

Tabla 1. Análisis de varianza del experimento 1. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo R en College Station, Texas.

Table 1. Analysis of variance for experiment 1. Grain yield on sorghum lines under irrigation in College Station, Texas.

Fuente	GL	SC	CM	F	Significancia
Genotipos	25	7263,4	290,5	1,321	0,245
Número de Plantas	1	2090,5	2090,5	9,508	0,005
Error	25	5496,7	219,8		
Total corregido	51	24704,2			

Tabla 2. Análisis de varianza del experimento 1. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo RL en College Station, Texas.

Table 2. Analysis of variance for experiment 1. Grain yield on sorghum lines under limited irrigation in College Station, Texas.

Fuente	GL	SC	CM	F	Significancia
Genotipos	24	12958,5	539,9	2,275	0,026
Bloque	1	113,8	113,8	0,480	0,496
Número de Plantas	1	13986,2	13986,2	58,939	0,000
Error	23	5457,8	237,2		
Total corregido	49	33405,7			

Tabla 3. Análisis de varianza del experimento 2. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo R en College Station, Texas.

Table 3. Analysis of variance for experiment 2. Grain yield on sorghum lines under irrigation in College Station, Texas.

Fuente	GL	SC	CM	F	Significancia
Genotipos	25	18895,9	755,8	3,066	0,004
Bloque	1	2631,8	2631,8	10,675	0,003
Número de plantas	1	4948,1	4948,1	20,071	0,000
Error	24	5916,7	246,5		
Total corregido	51	40350,4			

Tabla 4. Análisis de varianza del experimento 2. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo RL en College Station, Texas.

Table 4. Analysis of variance for experiment 2. Grain yield on sorghum lines under limited irrigation in College Station, Texas.

Fuente	GL	SC	CM	F	Significancia
Genotipos	24	22256,3	927,3	0,694	0,810
Bloque	1	560,6	560,6	0,420	0,524
Número de plantas	1	21484,8	21484,8	16,077	0,001
Error	23	30735,8	1336,3		
Total corregido	49	90265,3			

grano promedio en gramos por planta de las líneas de sorgo en los experimentos 1 y 2 bajo riego (R) y riego limitado (RL) en dicha localidad.

DISCUSIÓN

College Station. Bajo condiciones de riego, no se detectaron diferencias significativas entre genotipos (Tabla 1), aunque las diferencias fueron significativas bajo RL (Tabla 2).

El análisis de varianza en el experimento 2 detectó diferencias significativas entre genotipos bajo riego (Tabla 3), pero no bajo riego limitado (Tabla 4).

En la Tabla 5 en el experimento 1 se observó que todas las líneas fueron estadísticamente iguales bajo condiciones de riego en College Station; se encontraron 11 líneas que numéricamente superaron al híbrido P-84G11, sobresaliendo tres líneas con rendimientos superiores a 70 gramos por planta.

En el experimento 1 bajo RL (Tabla 5) siete nuevas líneas, y sus líneas progenitoras, presentaron rendimientos en un rango de 49,7 a 94,1 gramos por planta, las cuales superaron estadísticamente al híbrido testigo que presentó 37,6 gramos por planta. Las líneas antes mencionadas por rendimiento de grano no son resultado de la segregación transgresiva respecto de la línea A de la cual se originaron, pero si respecto al progenitor masculino o línea R que participó en la cruce de la cual se derivaron las líneas.

En el experimento 1 en College Station, de las siete líneas nuevas en riego limitado, cinco fueron numéricamente superiores al control. Las cinco nuevas líneas F₇ ó las líneas progenitoras que superaron al híbrido testigo en RL y que lo igualaron en riego, potencialmente se pueden promover para su utilización respecto a rendimiento de grano como variedades bajo ambas condiciones de humedad.

Del experimento 2 en College Station bajo riego (Tabla 5), se observó que cuatro líneas, de las cuales tres líneas F₇ y una progenitora presentaron rendimientos de 86,3 a 112,7 gramos por planta, superaron estadísticamente al híbrido P-84G11 (76,3 gramos por planta). En la Tabla 5 bajo RL en College Station, se observó que no hubo diferencias estadísticas entre las líneas. Sin embargo, numéricamente, doce líneas produjeron más grano que el híbrido en un rango de 49,6 a 102,4 gramos por planta, en tanto que el híbrido P-84G11 produjo 48,6 gramos por planta.

Tres líneas (1829x10351-1-1-1-2pl-1 \otimes , 1829x151-5-7-4-2 \otimes -2 \otimes y LES 10351) que bajo riego superaron estadísticamente al control, en RL fueron las tres primeras con mayor rendimiento de grano en College Station en el experimento 2 (Tabla 5). La primera línea superó a un progenitor femenino (1829 A) pero no al progenitor masculino (10351 R), por lo que esta línea es producto de la segregación transgresiva solo sobre el progenitor femenino (1829 A). La segunda línea superó a ambos progenitores (1829 A y 151 R) que participaron

10351 presentó el mayor rendimiento (44,1 gr/pl) superando estadísticamente a 14 líneas, que igualaron al híbrido testigo P-84G11 (27,4 gr/pl); 10 líneas fueron inferiores al testigo.

Considerando las condiciones de R y RL para la localidad de Lubbock, la línea LES10351 del experimento 2 sería recomendable para ambas condiciones, así como la línea 1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗.

Los resultados de las Tablas 5 y 10 demuestran que algunos genotipos de sorgo pueden producir rendimientos de grano aceptables, aún bajo condiciones de sequía, aunque esto depende del momento en que ésta ocurra, de su duración y de su severidad, como ocurre en el cultivo de cebada (Jamieson et al., 1995). No obstante, el sorgo es más susceptible a la sequía en las etapas de formación de la panoja, llenado de grano y desarrollo de la semilla (Fisher y Turner, 1978).

Segregación transgresiva. En la localidad de College Station, siete nuevas líneas F_7 presentaron un rendimiento de grano mayor en RL respecto al testigo, y también superaron al menos a una de las líneas progenitoras que intervinieron en la cruce; estos resultados indican la presencia de segregación transgresiva (Tabla 5). En Lubbock (Tabla 10), una línea nueva del experimento 1, que en RL superó estadísticamente al testigo, también superó estadísticamente a los dos progenitores que intervinieron en la cruce de la cual se origino la F_2 donde se inició la selección bajo condiciones de estrés hídrico.

En las Tablas 5 y 10 se puede observar que la segregación transgresiva en general estuvo presente, dado que el comportamiento de algunas líneas en R y RL presentaron un rendimiento de grano superior estadísticamente a los progenitores que participaron en las cruces que las derivaron.

En los resultados de las Tablas 5 y 10 se observa que al pasar de R a RL, se presenta una tendencia general en la reducción del rendimiento de grano, lo cual ha sido explicado por la coincidencia de la sequía con la etapa de formación de la panoja y llenado de grano. Esto es de esperar al reducir el riego en la condición de RL durante la floración (Fisher y Turner, 1978; Manjarrez, 1986; Jamieson et al., 1995; Boonjung y Fukai, 1996; Castro et al., 2000).

Lo anterior indica que el esquema utilizado de selección por capacidad de producción de grano bajo estrés hídrico permitió obtener ventaja de la segregación transgresiva, y permitió formar líneas F_7 con buen rendimiento de grano bajo RL o estrés hídrico. Estos resultados coinciden con Castro et al. (2000) y Sankarapandian et al. (1993) en el sentido de clasificar genotipos por su producción de biomasa y rendimiento de grano como respuesta al estrés hídrico. Este es un criterio de utilidad en el mejoramiento de la resistencia a la sequía en sorgo. Sin embargo, estos resultados no favorecen la apreciación de Ludlow y Muchow (1990), Fukai y Cooper (1995) y Turner (1997).

El haber generado nuevas líneas F_7 de sorgo para grano por selección bajo estrés hídrico (Valdés y Flores, 2009), se podría

Tabla 6. Análisis de varianza del experimento 1. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo R en Lubbock, Texas.

Table 6. Analysis of variance of experiment 1. Grain yield on sorghum lines under irrigation in Lubbock, Texas.

Fuente	GL	SC	CM	F	Significancia
Genotipos	25	2364,0	94,5	3,910	0,001
Bloque	1	0,236	0,236	0,010	0,922
Número de Plantas	1	65,1	65,1	2,694	0,114
Error	24	580,3	24,1		
Total corregido	51	3017,3			

Tabla 7. Análisis de varianza del experimento 1. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo RL en Lubbock, Texas.

Table 7. Analysis of variance of experiment 1. Grain yield on sorghum lines under limited irrigation in Lubbock, Texas.

Fuente	GL	SC	CM	F	Significancia
Genotipos	25	2862,1	114,4	3,829	0,001
Bloque	1	11,04	11,04	0,369	0,549
Número de plantas	1	12,93	12,93	0,433	0,517
Error	24	717,6	29,90		
Total corregido	51	3596,4			

Tabla 8. Análisis de varianza del experimento 2. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo R en Lubbock, Texas.

Table 8. Analysis of variance of experiment 2. Grain yield on sorghum lines under irrigation in Lubbock, Texas.

Fuente	GL	SC	CM	F	Significancia
Genotipos	25	4783,9	191,3	1,352	0,231
Bloque	1	267,1	267,1	1,888	0,182
Número de plantas	1	357,3	357,3	2,525	0,125
Error	24	3395,9	141,4		
Total corregido	51	10761,5			

Tabla 9. Análisis de varianza del experimento 2. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo RL en Lubbock, Texas.

Table 9. Analysis of variance of experiment 2. Grain yield on sorghum lines under limited irrigation in Lubbock, Texas.

Fuente	GL	SC	CM	F	Significancia
Genotipos	25	3298,5	131,9	4,649	0,000
Bloque	1	26,31	26,3	0,927	0,345
Número de plantas	1	11,35	11,3	0,400	0,533
Error	24	681,1	28,3		
Total corregido	51	4034,6			

Tabla 10. Comparación por DMS de rangos contra el testigo (Valdés et al., 1997) del rendimiento de grano promedio en gramos por planta de las líneas de sorgo de los experimentos 1 y 2 bajo riego (R) y riego limitado (R L) en Lubbock, Texas. Ciclo Primavera-Verano 2011.

Table 10. Range comparison against the control by LSD (Valdés et al., 1997) of mean grain yield (grams/plant) of the sorghum lines of experiments 1 and 2 under irrigation (R) and limited irrigation (RL) in College Station, Texas. Growing cycle: Spring-summer 2011.

Líneas del experimento 1	R	Líneas del experimento 1	R L	Líneas del experimento 2	R	Líneas del experimento 2	R L
P-84G11 Testigo	59,85 a	398x151-7-5-4-1⊗-2⊗	49,74 a	LES 10351	78,83	LES 10351	44,11 a
LES 10351	54,02 b	398x151-7-5-11-2⊗-1⊗	34,90 b	1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗	61,85	1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗	35,43 b
1823x154-4-5-5-2pl-2⊗	46,95 c	398x150-3-4-3-1⊗-1⊗	31,58 b	1829x151-5-3-(12)-3-1pl-1⊗	61,30	1829x151-5-4-(12)-3-1pl-2⊗	27,75 b
1823x154-4-5-5-2pl-4⊗	46,64 c	LES 10351	26,96 b	P-84G11 Testigo	57,93	P-84G11 Testigo	27,41 b
398x151-7-5-11-2⊗-1⊗	45,62 c	398x10351-1-2-5-1⊗-1⊗	26,68 b	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-4⊗	56,78	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-1⊗	24,94 b
1823x154-4-5-5-1⊗-2⊗	45,53 c	398x10351-1-1-2-5-1⊗	26,49 b	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-2⊗	53,58	1829x151-5-7-4-1⊗-2⊗	24,69 b
398x151-5-3-6-1⊗-1⊗	45,44 c	P-84G11 Testigo	26,08 b	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-1⊗	53,57	LES 151	23,80 b
398x151-5-3-6-1⊗-2⊗	45,44 c	398x150-3-4-5-2⊗-1⊗	25,99 b	WM3845-7-5-12-2pl-1⊗	52,71	LES 154	23,61 b
LES 154	44,63 c	1823x154-1-6-4-2pl-1⊗	25,53 b	1829x151-5-4-(12)-3-1pl-2⊗	50,87	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-2⊗	22,45 b
398x150-3-4-5-2⊗-1⊗	44,47 c	398x151-7-5-1-1⊗-1⊗	24,67 b	1823 B	47,62	1829x151-5-3-(12)-3-1pl-1⊗	21,54 b
398x150-3-4-3-1⊗-1⊗	44,10 c	1823x154-4-5-5-2pl-3⊗	24,30 b	1829x10351-1-2-4-1⊗-1⊗*	46,90	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-4⊗	21,39 b
398x151-7-5-4-1⊗-2⊗	42,39 c	1823x154-4-5-5-2pl-2⊗	23,32 b	LES 154	46,28	1823x154-4-5-6-2⊗-3⊗	21,11 b
1823x154-4-5-5-2pl-3⊗	42,33 c	398x151-5-3-6-1⊗-3⊗	22,97 b	LES 151	45,90	1823x154-4-5-6-2⊗-1⊗	19,93 b
398x10351-1-1-2-5-1⊗	41,78 c	398x151-5-3-6-1⊗-2⊗	21,43 b	1829x10351-2-1-3-1⊗-1⊗	44,68	1829x151-5-7-4-2⊗-1⊗	19,81 b
1823x154-4-5-3-1⊗-1⊗	41,51 c	1823x154-4-5-5-1⊗-2⊗	21,24 b	1823x154-4-5-6-2⊗-1⊗	43,31	1829 B	17,50 b
1823 B	41,42 c	1823x154-4-5-3-1⊗-1⊗	21,13 b	WM3845-4-6-24-6-2⊗-1⊗	42,98	1829x151-5-7-4-2⊗-2⊗	17,32 b
1823x154-4-5-5-2pl-1⊗	41,40 c	1823x154-1-6-6-1pl-1⊗	21,05 b	1829x151-5-4-(12)-3-1⊗-1⊗	42,87	WM3845-4-6-24-4-1⊗-1⊗	16,86 c
1823x154-4-5-5-1pl-2⊗	39,74 c	LES 154	20,42 b	1823x154-4-5-6-2⊗-3⊗	42,29	WM3845-7-5-12-2pl-1⊗	16,69 c
398x151-5-3-6-1⊗-3⊗	39,17 c	398x151-5-3-6-1⊗-1⊗	19,51 b	WM3845-4-6-24-4-1⊗-1⊗	41,53	1829x151-5-4-(12)-3-1⊗-1⊗	16,30 c
LES 151	38,53 c	1823x154-4-5-5-2pl-4⊗	18,43 b	1829 B	39,82	1829x10351-1-2-4-1⊗-1⊗*	15,51 c
1823x154-1-6-6-1pl-1⊗	37,79 c	1823x154-4-5-5-1pl-2⊗	17,85 b	1829x151-5-7-4-2⊗-2⊗	38,98	WM3845-4-3-13-5-3⊗-1⊗	14,17 c
1823x154-4-5-5-1⊗-1⊗	37,68 c	LES 151	16,30 b	1829x151-5-7-4-1⊗-2⊗	38,98	1823 B	13,46 c
398x10351-1-2-5-1⊗-1⊗	33,14 c	1823 B	14,75 c	WM3845-4-3-13-5-3⊗-1⊗	38,63	1829x10351-2-1-3-1⊗-1⊗	11,14 c
1823x154-1-6-4-2pl-1⊗	32,68 c	1823x154-4-5-5-2pl-1⊗	14,57 c	1829x151-5-7-4-2⊗-1⊗	37,25	WM3845-3-3-4-1⊗-1⊗	10,81 c
398x151-7-5-1-1⊗-1⊗	27,40 c	1823x154-4-5-5-1⊗-1⊗	13,50 c	WM3845-3-3-4-1⊗-1⊗	37,19	WM3845-4-6-24-6-2⊗-1⊗	8,42 c
LES 398 B	26,94 c	LES 398 B	11,89 c	WM3845-3-3-12-1⊗-1⊗	33,62	WM3845-3-3-12-1⊗-1⊗	6,29 c
DMS (0.05) = 10.1	LS = 69,95	DMS (0.05) = 10.1	LS = 36,18			DMS (0.05) = 10.1	LS = 37,51
	LI = 49,75		LI = 15,98				LI = 17,31

DMS = Diferencia mínima significativa, LS = límite superior de DMS, LI = límite inferior de DMS, a = superior al testigo, b = igual al testigo, c = inferior al testigo.

DMS = Least significant difference (LSD), LS = upper limit of LSD, LI = lower limit of LSD, a = greater than the control, b = equal to the control, c = lower than the control.

explicar por poseer mecanismos morfológicos y fisiológicos de adaptación a sequía (Fussell et al., 1991; Sharp, 1994; Castro et al., 2000). Estas líneas presentaron un buen rendimiento de grano bajo RL respecto al testigo y a las líneas que participaron en las cruces de las cuales se derivaron durante su evaluación.

En la selección para rendimiento de grano, se agregaron mecanismos de tolerancia a la sequía en las nuevas líneas tolerantes a esta condición (Fisher y Maurer, 1978; Blum et al., 1991). Por lo tanto, las nuevas líneas F₇ se podrían recomendar para su siembra en la región Noreste de México, donde predominan condiciones limitantes de humedad.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONA-CyT), México, por la beca mixta otorgada para la realización de la estancia de investigación en el extranjero en Texas A&M University, Sorghum Breeding and Genetics. Department of Soil & Crop Sciences, College Station, TX.

Al Dr. William L. Rooney, por su apoyo incondicional durante mi estancia en el Programa de Mejoramiento de Sorgo, y por las facilidades otorgadas para la realización del presente trabajo en las localidades de Texas, EE.UU.

REFERENCIAS

- Belum, V., S. Reddy, S. Ramesh y A. Kumar (2009). Genetic enhancement for drought tolerance in sorghum. ICRISAT. Andhra Pradesh, India. En *Plant Breeding Reviews*.
- Blum, A., J. Mayer y G. Golan (1989). Agronomic and physiological assessments of genotypic variation for drought resistance in sorghum. *Australian Journal of Agricultural Research* 40: 49-61.
- Blum, A., G. Golan y J. Mayer (1991). Progress achieved by breeding open-pollinated cultivars as compared with landraces of sorghum. *Crops and Soils* 117: 307-312.
- Boonjun, H. y S. Fukai (1996). Effects of soil water deficit at different growth stages on rice growth and yield under upland conditions. 2. Phenology, biomass production and yield. *Field Crops Research* 48: 47-55.
- Castro N., S., J. Ortiz C., M.C. Mendoza y F. Zavala G. (2000). Producción de biomasa en líneas de sorgo como respuesta al estrés hídrico. *Revista Fitotécnica Mexicana* 23: 321-334.
- Chapman, S.C., M. Cooper, G.L. Hammer y D.G. Butler (2000). Genotype by environment interactions affecting grain sorghum. II Frequencies of different seasonal patterns of drought stress are related to location effects on hybrid yields. *Australian Journal of Agricultural Research* 51: 209-221.
- Clará, V.R. y L.W. Rooney (2009). Control genético del color del grano de sorgo. CENTA- INTSORMIL. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. (CENTA). San Andrés, La Libertad, El Salvador.
- Doggett, H. (1965). The development of cultivated Sorghum. En: Huchins, S.J.B. (ed.). *Essays on crop plant evolution*. London, UK. Cambridge University Press. 50 p.
- Dykes, L., L.W. Rooney, R.D. Waniska y W.L. Rooney (2005). Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 6813-6818.
- Elkin, R.G., M.B. Freed, B.R. Hamaker, Y. Zhang y C.M. Parsons (1996). Condensed tannins are only partially responsible for variations in nutrient digestibilities of sorghum grain cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44: 848-853.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2011). FAOSTAT. ProdStat database, yearly production. Consultado en Noviembre del 2011. Disponible en <http://www.fao-stat.fao.org>
- Fisher R.A. y R. Maurer (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research* 29: 897-912.
- Fisher, R.A. y N.C. Turner (1978). Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Annual Review of Plant Physiology* 29: 277-317.
- Fukai, S. y M. Cooper (1995). Development of drought-resistant cultivars using physiological traits in rice. *Field Crops Research* 40: 67-86.
- Fussell, L.K., F.R. Bidinger y P. Bieler (1991). Crop physiology and breeding for drought tolerance: Research and development. *Field Crop Research* 27: 183-199.
- Gous, F. (1989). Tannins and phenols in black sorghum. Ph.D Dissertation. Texas A&M University. College Station, Texas.
- Hammer, G.L. (2006). Breaking the yield barrier in sorghum. En: A.K. Borrell and D.R. Jordan (eds). *Proceedings of the 5th Australian Sorghum Conference*. Gold Coast. Australia, 30 Jan-2 Feb. 2006. ISBN: 0-6464673-0-1.
- ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics) (2009). *Sorghum Biodiversity at ICRISAT*. Andhra Pradesh, India.
- Jamieson, P.D., R.J. Martin, G.S. Francis y D.R. Wilson (1995). Drought effects on biomass production and radiation use efficiency in barley. *Field Crop Research* 43: 77-86.
- Lilley, J.M. y S. Fukai (1994). Effect of timing and severity of water deficit on four diverse rice cultivars. III. Phenological development, crop growth and grain yield. *Field Crop Research* 37: 225-234.
- Ludlow, M.M. y R.C. Muchow (1990). A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Advances in Agronomy* 43: 107-120.
- Ludlow, M.M., J.M. Santamaría y S. Fukai (1990). Contribution of osmotic adjustment to grain yield in *Sorghum bicolor* (L.) Moench under water-limited conditions. II. Water stress after anthesis. *Australian Journal of Agricultural Research* 41: 67-78.
- Manjarrez S., P. (1986). Respuesta de dos sorgos tolerantes al frío y a deficiencias hídricas en diferentes etapas fenológicas. Tesis de Maestría. COLPOS. Montecillos, Estado de México. 73 p.
- Mullet, J.E. (2008). Traits and genes for plant drought tolerance. En: A.L. Kriz y B.A. Larkins (eds.). *Biotechnology in Agriculture and Forestry. Molecular Genetic Approaches to Maize Improvement*. Vol. 63, pp. 55-64. Springer Verlag.
- Poehlman, J.M. (2005). *Mejoramiento genético de las cosechas*. 2^a Edición. Editorial, Limusa. México, Distrito Federal.
- Regional IPM Centers. (2008). *Crop Profile for Sorghum in Texas*, EE.UU. URL: <http://www.ipmcenters.org/cropprofiles/docs/TXsorghum>
- Rosenow, D.T. y L.E. Clark (1981). Drought tolerance in sorghum. En: H.D. Loden y D. Wilkinson (eds.). *Proceedings of the 36th annual corn and sorghum industry research conference*. Chicago, IL. 1981. p 18-30.
- Rosenow, D.T., G. Ejeta, L.E. Clark, M.L. Gilbert, R.G. Henzell, A.K. Borrell y R.C. Muchow (1997). Breeding for pre- and post-flowering drought stress resistance in sorghum. *Proceedings of the International Conference on Genetic Improvement of Sorghum and Pearl Millet*. INTSORMIL., Lincoln, Nebraska. pp. 400-411.
- SAGARPA Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2009). *SIAP. Resumen nacional de la producción agrícola*. Cultivo de sorgo para grano bajo condiciones de riego y temporal.
- Sánchez, M. y G.J.C. Partida (2011). Es crítica la situación en Tamaulipas, donde la cosecha de sorgo presento una reducción del 40%. Periódico La Jornada. Publicado el 18 de Noviembre de 2011. p. 43.
- Sankarapandian, R., D. Krishnadoss, N. Muppudathi y S. Chidambaram (1993). Variability studies in grain sorghum for certain physiological characters under water stress conditions. *Crop Improvement* 20: 45-50.
- Sharp, R.E. (1994). Physiology of root elongation at low water potentials: advantage of a kinematic approach. *Plant Physiology* 105: 7.
- SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2011). *Resumen Nacional de la Producción Agrícola*. Cultivo de sorgo para grano (en línea). Consultado Diciembre, 2011. Disponible en <http://www.siap.gob.mx>

- Steel, R.G.D. y J. Torrie (1993). Comparaciones múltiples. En Bioestadística. Principios y Procedimientos. McGraw-Hill. Ed. Segunda edición. 622 p.
- SPSS Inc. Statistical Package for the Social Sciences (2006). SPSS Inc. 17.0. Para Windows. Guía de usuario. Chicago, IL.
- Turner, N.C. (1997). Further progress in crop water relations. *Advances in Agronomy* 58: 293-338.
- Valdés L., C.G.S. y A. Flores N. (2009). Formación de líneas de sorgo tolerantes a sequía para la sostenibilidad de los agroecosistemas Norestenses. Agricultura Sostenible Vol. 6. Libro de Memoria. X Simposio Internacional y V Congreso Nacional de Agricultura Sostenible. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Valdés L., C.G.S., R.I. Gómez y J.A. Pedroza F. (1997). Practical use of heterosis in *Sorghum x Sudangrass* Hybrids. En: The genetics and exploitation of heterosis in crops. An International Symposium. CIMMYT. Book of abstracts. ISBN: 968-6923-90-X. p.96. 17-22 August 1997. Mexico City, Mexico.
- Van Oosterom, E.J., A.K. Borrell, K.S. Deifel, I.J. Broad y G.L. Hammer (2011). Plant design features that improve grain yield of sorghum under terminal drought stress. *Crop Science* 51: 2728-2740.
- White, J.W. y J. Izquierdo (1991). Physiology of yield potential and stress tolerance. Common beans. Research for crop improvement . C.A.B. Intl. U.K. and CIAT, Cali, Colombia. pp. 287-382.
- White, J.W. y S.P. Singh (1991). Breeding for adaptation to drought. En: Schoonhoven A.V. y O. Voysest (eds). Common beans: Research for crop improvement. C.A.B. Intl. U. K. and CIAT, Cali, Colombia. pp. 501-560.
- Yang Yang, J., L. Zhang, Z. Huang, Q. Zhu y L. Wang (2000). Remobilization of carbon reserves is improved by a controlled soil-drying during grain filling of wheat. *Crop Science* 40: 1645-1655.