

Avance en la formación de líneas androestériles y mantenedoras de la esterilidad en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench)

JIMÉNEZ-CORDERO, Ángel Andrés*†, SÁNCHEZ-BELLO, Verónica, CARRANZA-CHITICA, Jesús Israel y PADILLA-GARCÍA, José Miguel

Universidad de Guadalajara

Recibido Julio 15, 2016; Aceptado Septiembre 24, 2016

Resumen

Los objetivos fueron formar progenitores androestériles para producción de híbridos, y comparar dos métodos para elección de progenitores B. Experimento uno: en 2008-2015 se obtuvieron 52 pares A/B en retrocruza 2. Después de tres ciclos de cruza AxB hasta 2015, el germoplasma de B transferido es 87.5%. Se harán tres retrocruzas adicionales para alcanzar el 98% del genotipo del progenitor B en la estéril A. En RC₅, las nuevas líneas A se probarán para aptitud combinatoria y determinar su valor como progenitoras de híbridos. Experimento dos: se evaluaron 33 líneas B. Se identificaron cinco con rendimiento y atributos agronómicos superiores o similares a las líneas originales. Si la evaluación de líneas B *per se* proporciona una estimación de la aptitud combinatoria general, solo líneas B experimentales superiores serán esterilizadas, y después se evaluarán para confirmar su aptitud combinatoria.

Aptitud combinatoria, progenitor femenino

Citación: JIMÉNEZ-CORDERO, Ángel Andrés, SÁNCHEZ-BELLO, Verónica, CARRANZA-CHITICA, Jesús Israel y PADILLA-GARCÍA, José Miguel. Avance en la formación de líneas androestériles y mantenedoras de la esterilidad en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2016, 3-8: 1-8.

Abstract

Objectives of this research were to develop new superior sorghum A/B lines, and the comparison of two methods for selecting B-lines to be sterilized. Two experiments were conducted. In the first one, in 2015 we obtained 52 A/B pairs in BC₂. After three AxB crossing cycles, it was transferred 87.5% of the B-germplasm into the A-sterile version. In BC₅ the new A-lines will be crossed with R-lines to recognize their combining ability. Experiment two consisted in evaluating 33 selected experimental B-lines in 2012. Five lines were identified as high yielders with good agronomic traits, compared to the original B lines. This group is under backcrossing process, and later it will be evaluated to confirm its good general combining ability.

Combining ability, female lines

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: ajc_swlabr@hotmail.com.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El sorgo es el segundo cultivo más importante en superficie sembrada en México. Nuestro país ocupa el cuarto lugar mundial en producción de este grano, con el 11% (http://archive.gramene.org/species/sorghum/sorghum_maps_and_stats.html, consultado abril 2016).

La capacidad del cultivo para producir cosecha en condiciones adversas, en particular con menos humedad que la mayoría de otros cultivos de grano, hace del sorgo una importante fuente de alimento pecuario, comida, fibra y combustible en el agroecosistema global (<http://genome.jgi-psf.org/Sorbi1/Sorbi1.home.html>, consultado abril 2016).

La preferencia por el grano de sorgo en alimentos, proviene de no contener gluten, y es un excelente sustituto del trigo, centeno y cebada (Maunder, 2006). En el período 2005-2015 se sembraron en México en promedio 1'700,000 hectáreas anuales, la producción promedio ascendió a 6'300,000 toneladas y el rendimiento promedio fue de 3.9 toneladas ha-1. Este grano es un producto agrícola de consumo directo en la actividad pecuaria.

La demanda de este grano en dicha actividad es de 8,000 toneladas anuales; en 2015 la importación fue mínima, ya que la producción nacional fue suficiente para cubrir la demanda. El sorgo se destina a la producción de carne de aves, huevo, carne de cerdo y en alimentos balanceados (Asociación Nacional Fabricantes Alimentos para Consumo Animal, 2015). La dimensión del mercado de semilla de este cultivo asciende a 29,000 toneladas anuales. Dicho mercado se encuentra dominado por empresas de Estados Unidos; el precio de la simiente es elevado para las limitadas condiciones socioeconómicas de los productores.

Las semilleras nacionales recurren a genealogías públicas de sorgo en Estados Unidos, lo que reduce sus utilidades y propicia una presencia limitada en el mercado.

Una opción para disminuir el costo en forma aproximada en un 20 o 30% del actual, es disponer de progenitores propios para evitar o minimizar el pago de regalías.

Para obtener semilla híbrida en forma comercial, se requiere de una línea A androestéril con genotipo $rf\ rf$, msc , que se usa como hembra, y una línea restauradora de la fertilidad R con genotipo $Rf\ Rf$, Msc , que se usa como macho (Stephens et al., 1952; Stephens y Holland, 1954; Poehlman, 1965; Quinby y Schertz, 1970).

Estos genes conforman el sistema de androesterilidad génico citoplásmico, en el que está basada toda la industria de semilla híbrida de sorgo a nivel mundial. La planta de sorgo posee alelos nucleares recesivos $rf\ rf$ que impiden la microsporogénesis en las anteras, estas flores no forman polen pero su gineceo es funcional.

Los alelos dominantes $Rf\ Rf$ permiten que se realice la microsporogénesis en forma normal, y las plantas producen polen. Además, en los organelos del citoplasma se presenta el gene de esterilidad msc que también interfiere con la microsporogénesis y otro de fertilidad Msc que contribuye a la formación de polen (Schertz y Stephens, 1966). El primer objetivo del presente trabajo es formar progenitores androestériles para producción comercial de híbridos de sorgo competitivos; para lograrlo se usaron dos metodologías, primero la genealógica para formar líneas B, y en forma posterior el retrocruzamiento para esterilizar dichas líneas (Allard, 1967).

La segunda metodología consiste en evaluar líneas B en F5, como indicador de su posible aptitud combinatoria, para después esterilizar solo las mejores. La aptitud combinatoria general (ACG) se define como el promedio de una línea en combinaciones híbridas y la aptitud combinatoria específica (ACE) como la desviación de una cruce del comportamiento promedio de los padres (Sprague y Tatum, 1942). Estos conceptos permiten seleccionar los progenitores con mejores caracteres (Kenga et al., 2004; Solanki et al., 2007). El segundo objetivo es comparar la eficiencia de los dos métodos de elección de progenitores B.

Tipo de Cultivar	Genes Nucleares	Genes Citoplásmicos	Fenotipo	Formación De polen
Línea a	Rf rf	Msc	Androestéril	No restaura fertilidad
Línea b	Rf rf	Msc	Androfértil	No restaura fertilidad, Solo la mantiene
Línea r	Rf rf	Msc	Androfértil	Restaura fertilidad
Híbrido	Rf rf	Msc	Androfértil	Restaura fertilidad

Tabla 1 Sistema génico citoplásmico de microsporogénesis en sorgo

Materiales y métodos

Las plantas de sorgo se clasifican de acuerdo a su composición genética para esterilidad y fertilidad nuclear y citoplásmica, como se ilustra la Tabla 1.

Experimento 1. Se formaron cinco poblaciones con el cruzamiento entre cuatro líneas B de sorgo mantenedoras de la esterilidad, cuya composición genética para el carácter androesterilidad en el núcleo es rf rf y en el citoplasma Msc. La Tabla 2 muestra las líneas B originales, su genealogía y el grupo racial o varietal al que pertenecen.

Eta 1. Formación de líneas B mejoradas.

Se utilizó el Método Genealógico para mejoramiento de plantas autógamias (Allard, 1967; Briggs y Knowles, 1967; Quinby y Schertz, 1970). La selección individual se practicó en las poblaciones indicadas en la Tabla 2 a partir de F2 en 2008 hasta F5 en 2011, con la metodología descrita en la Tabla 3. Todas las selecciones individuales fueron autofecundadas para asegurar su identidad genética.

Población	Genealogía
B102r x b101r	[(btx378xsc110-6) (btx378xsc110-9) x btx615] x (kafir x milo)
B102r x b28603	[(btx378xsc110-6) (btx378xsc110-9) x btx615] x b28603
B103b x b101r	[mr807 x (btx3197 x sc170-6-4)] x (kafir x milo)
B103b x b28603	[mr807 x (btx3197 x sc170-6-4)] x b28603
B101r x b28603	(kafir x milo) x b28603

Tabla 2 Poblaciones formadas y su genealogía. Fuente: CUCBA 2008

Ciclo	Generación	Resultado
2008 P/V	Formación poblaciones	Cinco poblaciones BxB.
2008-09 O/I	F ₁	Semilla F ₂ de cinco poblaciones BxB.
2009 P/V	F ₂	112 plantas autofecundadas de cinco poblaciones BxB.
2009-10 O/I	F ₃	Semilla F ₄ de cinco poblaciones BxB.
2010 P/V	F ₄	Semilla F ₅ de 105 líneas derivadas de las 5 poblaciones.
2011 P/V	F ₅	Incremento de semilla de 33 líneas F ₅ seleccionadas, derivadas de cinco poblaciones.
2012 P/V	Cruzas AxB	Obtención de 66 pares A/B para el proceso de retrocruzas
2014 P/V	Retrocruza 1	Obtención de 38 pares A/B en retrocruza 1
2015 P/V	Retrocruza 2	Obtención de 52 pares A/B en retrocruza 2

Tabla 3 Proceso de mejoramiento de líneas B de sorgo. Fuente: CUCBA 2008-2015

Etapa 2. Obtención de líneas A. Se utilizó el Método de Retrocruza (Pohelman, 1965; Allard, 1967; Briggs y Knowles, 1967) para transferir todo el genotipo de las líneas B seleccionadas, a líneas A que tienen el gene de esterilidad citoplásmica *msc*.

Las 26 líneas B seleccionadas en F₅ para esterilización se muestran en la Tabla 4, y forman el grupo 1. Se eligieron por su buen fenotipo: planta baja, uniformidad de tamaño y floración, tolerancia a enfermedades, tamaño de panoja grande, buena formación de grano y grano tolerante a intemperismo.

En la Tabla 4 se muestran las líneas B experimentales y su fuente A de esterilidad. En cada par A/B se hicieron tres a cuatro cruzamientos en cada año. El cruzamiento de líneas AxB se realizó en 2012, la retrocruza 1 en 2014 y la retrocruza 2 en 2015.

Donador Esterilidad	Población	Número Líneas
AC101R	BC103BxB ₂ BC101R	10
AC101R	BC103BxB ₂ 8603	13
AC101R	BC101RxB ₂ 8603	1
AC102R	BC102RxB ₂ BC101R	8
AC102R	BC103BxB ₂ BC101R	4

Tabla 4 Grupo 1 Fuentes de esterilidad y poblaciones de las líneas B sometidas a retrocruza. Fuente: CUCBA 2008-2015

Etapa 3. Esta parte del trabajo permitirá evaluar la aptitud combinatoria general y específica de las nuevas líneas A, después que se haya efectuado la retrocruza 5.

Las líneas A obtenidas mediante el procedimiento antes descrito, deben ser cruzadas con líneas R probadoras de la aptitud combinatoria general y específica (Quinby y Schertz, 1970). Los híbridos así formados se evaluarán de acuerdo a un diseño genético apropiado.

La información obtenida permitirá conocer cuales líneas A son las mejores combinadoras, mismas que pueden ser utilizadas extensivamente para buscar combinaciones híbridas con utilidad comercial.

Experimento 2. En 2012 en el campo experimental del CUCBA, con clima Aw₀ (w)(e)g y 1540 metros sobre el nivel del mar, se evaluaron en ensayo de rendimiento 33 líneas B F₅ (grupo 2), obtenidas como parte del proceso de mejoramiento que se indica en la Tabla 3.

Población	Líneas B experimentales
BC102R x B ₂ 8603	BX201, BX202, BX203
	BX219, BX221
BC102R x BC101R	BX204, BX214, BX215
	BX216, BX217
BC103B x BC101R	BX205, BX206, BX207
BC103B x B ₂ 8603	BX208, BX209, BX210
	BX211, BX212, BX213
	BX218, BX220
BC103B x BC102R	BX222, BX223, BX224
	BX224, BX225, BX226
	BX227, BX228, BX229
	BX230, BX231, BX232
	BX233
Testigos	BC101R, BC102R
	BC103B, B ₂ 8603

Tabla 5 Grupo 2 Líneas B de sorgo evaluadas en F₅. Fuente: CUCBA 2012

Las líneas evaluadas se anotan en la Tabla 5. Se usó el diseño bloques al azar y 3 repeticiones para obtener información relativa a características agronómicas y capacidad de rendimiento, como posible indicador temprano de ACG. El propósito es encontrar evidencia si la selección fenotípica practicada en el grupo 1, es tan efectiva como la selección del grupo 2 después de evaluar sus méritos. En el vivero de líneas, continuó el proceso de selección de las líneas del grupo 2, para obtener semilla de la generación F₆ de las 33 líneas B.

Resultados y discusión

Experimento 1. Grupo 1. En 2015 se obtuvieron 52 pares A/B en retrocruza 2 (RC₂), como resultado del proceso de esterilización de las líneas B. Con la cruce inicial y cada una de las posteriores retrocruzas, la proporción del progenitor donador se reduce a la mitad en cada ciclo; si el número de retrocruzas hacia el progenitor donador de esterilidad A es n, la proporción de germoplasma del donador es $(1/2)^n$ (Briggs y Knowless, 1967).

Después de los tres ciclos de cruces AxB realizadas hasta 2015, la proporción del progenitor A donador de esterilidad es $(1/2)^3 = 1/8 = 12.5\%$, mientras el germoplasma de B transferido es 87.5%.

Después de cinco retrocruzas (RC₅) será $(1/2)^6 = 1/64 = 1.6\%$, mientras la proporción del progenitor recurrente B será 98.4%. Así, las líneas A y B serán prácticamente isogénicas, solo diferirán en el gene citoplásmico ms_c de la línea A y el gene citoplásmico Ms_c de la línea B.

Al llegar a la etapa RC₅, será posible cruzar las nuevas líneas A con líneas R probadoras de la aptitud combinatoria, y determinar su valor como progenitoras de híbridos. La técnica de retrocruza permite conocer en detalle y de antemano los caracteres morfológicos y agronómicos de la variedad mejorada. El método proporciona un resultado predecible y repetible; permite transferir características de un progenitor B a otro progenitor A sin modificar la integridad de B (Briggs y Knowless, 1967). También hace posible la recuperación de todos los caracteres favorables del progenitor recurrente (B), e incluye tanto los caracteres de herencia debida a pocos genes como los de herencia cuantitativa, excepto si existen genes ligados en forma estrecha.

Se obtienen mejores resultados cuando el carácter por transferir se identifica con facilidad en el fenotipo de los segregantes (Allard, 1967; Quinby y Schertz, 1970), como es el caso de la esterilidad masculina en este trabajo. En la presente investigación, la selección de los progenitores recurrentes, las líneas B, se realizó durante la etapa 1, por lo que en la etapa 2 de retrocruzas se cuida en forma principal la presencia de la esterilidad masculina y la ganancia en similitud fenotípica entre las líneas A y B. La proporción de homocigosis se obtiene con la fórmula $(2^m-1)/2^m$, donde m es el número de retrocruzas (Briggs y Knowles, 1967). Después de las cinco retrocruzas planeadas para las líneas B, la homocigosis de las líneas A será $(2^5-1)/2^5 = 31/32 = 96.9\%$.

Después de cinco retrocruzas, los loci homocigóticos de las líneas A serán los mismos que los del progenitor recurrente B; esta homocigosis difiere de la que se logra con el método genealógico, que es una combinación de genes de ambos progenitores. La técnica de retrocruzas es un mecanismo poderoso para lograr homocigosis, y cualquier población obtenida en esta forma convergirá rápido hacia el genotipo del progenitor recurrente (Allard, 1967), que es lo que se espera al final del presente proyecto.

Experimento 2. La mayor parte del fitomejoramiento que se realiza en sorgo en el continente americano, está orientado a la obtención de progenitores de híbridos. Durante el proceso se atiende el rendimiento, resistencia a enfermedades, insectos, acame, y en forma primordial mejor calidad de grano o tallo y adaptabilidad como la mejor respuesta al ambiente (www.itis.usda.gov, consultado mayo 2016). Pero el factor que siempre está presente es la capacidad de combinación de la línea para formar híbridos competitivos.

La mejor forma de reconocer este carácter es a través de la evaluación de combinaciones híbridas. Es frecuente que la evaluación de líneas R en cruzamientos se efectúe a partir de F₅, aunque las líneas no sean totalmente homocigóticas. A las líneas B debe insertárseles el gene citoplásmico ms_c para convertirlas en líneas A androestériles, casi siempre a partir de la generación F₄ (Quinby y Schertz, 1970). La evaluación *per se* de las líneas B es posible que proporcione orientación sobre su potencial para formar híbridos superiores (Jiménez-Cordero y Casas-Salas, 1983), y es la hipótesis con la que se realizó esta parte del proyecto. Solo se esterilizarán las mejores líneas derivadas de su evaluación. El criterio considerado es rendimiento de grano y buenas características agronómicas. La Tabla 6 contiene el resultado los análisis de varianza del ensayo de líneas B (Grupo 2).

FV	REN	LPA	EXC	DF
Repeticiones	5.5*	51.6*	29.4ns	10.3n
Genotipos	2.8*	10.4n	90.8*	12.8n
Error	0.59	10.7	18.6	10.6
FV	ACA		P200g	ALP
Repeticiones	0.09n		0.86*	417*
Genotipos	1.8*		0.29ns	372*
Error	0.85		0.25	83.0
REN=rendimiento de grano; LPA=longitud panoja; EXC=excursión; DF=días a flor; ACA=acame; P200g=peso 200 granos. ALP=altura planta; * significativo p≤0.05; n=no significativo.				

Tabla 6 Cuadrados medios en siete variables de 33 líneas B experimentales (Grupo 2) y cuatro líneas B originales. Fuente: CUCBA 2012

El resultado de la evaluación de las líneas B del grupo 2 (Tabla 7), indica que el genotipo BXP217 tiene mayor capacidad de producción (4.17 ton ha⁻¹) que las líneas progenitoras (3.37 a 3.96 ton ha⁻¹) y que el resto del material evaluado. Las líneas experimentales BXP205, BXP216, BXP219, BXP226 y BXP227 mostraron una capacidad de producción (3.94 a 4.17 ton ha⁻¹), que en forma estadística es similar a las líneas originales.

Caracteres agronómicos importantes como el tamaño de planta de las líneas experimentales sobresalientes, se encuentra en un rango de 117 a 141 cm, que es adecuado para producción comercial, son estadísticamente iguales a las líneas B originales (112 a 141 cm), excepto BXP219 con 108 cm. La excursión o tamaño del pedúnculo es adecuado en las líneas experimentales (11 a 27 cm) para producción de híbridos, comparadas con las progenitoras (17 a 23 cm).

La tolerancia al acame, el peso de 200 granos y la madurez estimada como días a floración, son similares en forma estadística entre el material nuevo y el original. El comportamiento de las líneas se vio afectado en alguna medida al presentarse sequía al final de la floración, durante el llenado de grano.

La deficiencia de humedad post-antesis puede reducir en forma significativa el rendimiento debido a la disminución del tamaño del grano, a una muerte prematura de la planta y al aumentar la susceptibilidad a enfermedades (Borrell et al., 2003). La estimación de ACG en sorgo, contribuye a mejorar el vigor de plántulas (Yu y Tuinstra, 2001), rendimiento y días a floración (Estrada y Ángeles, 1975). El híbrido de sorgo explota la heterosis de la cruce de una línea A androestéril con una línea R fértil restauradora de la fertilidad masculina (Orozco y Mendoza, 1983). Para alcanzar la más alta expresión heterótica, se requiere que ambos progenitores posean una alta aptitud combinatoria.

Existe evidencia que sugiere que el comportamiento *per se* de las líneas puede ser un buen estimador de la ACG (Jiménez-Cordero y Casas-Salas, 1983; Mendoza, 1988), ya que se ha identificado correlación significativa entre ambos (Yu y Tuinstra, 2001).

León-Velasco *et al.*, (2009), encontraron coeficientes de regresión con una relación positiva entre el rendimiento *per se* y su respectiva aptitud combinatoria general para las líneas B; estos investigadores concluyeron que el rendimiento *per se* de las dos generaciones de líneas B estudiadas, es un estimador aceptable de su capacidad de combinación.

Aunque serán necesarias evaluaciones posteriores de las líneas B del programa de mejoramiento de sorgo del CUCBA, con base en los resultados de la evaluación que aquí se informa, puede anticiparse que se esterilizarán solo las líneas del grupo superior en rendimiento que se espera presenten un buen nivel de aptitud combinatoria.

Conclusiones

En el experimento 1, se obtuvieron 52 pares A/B en retrocruza 2. Se transfirió el 87.5% del genotipo de las líneas B a sus versiones estériles A. Después de retrocruza 5, estas líneas serán evaluadas para aptitud combinatoria a través del cruzamiento con machos probadores.

En el experimento 2, se evaluaron 33 líneas B en F₅ con buenas características agronómicas.

La evaluación de este segundo grupo de líneas B, indicó la existencia de un material superior en rendimiento a las líneas originales, y otras cinco líneas experimentales con capacidad de producción similar a las progenitoras, además de reunir características agronómicas adecuadas para producción comercial.

Solo se esterilizarán las líneas con mejor capacidad de producción y buenos atributos agronómicos.

Líneas	ALTP cm	LPAN cm	EXC cm	REND ton ha ⁻¹	ACA 1-10	DF días	P200G g
BXP201	109a	21.8	13.4bcd	3.40abcd	9.0ab	82	3.2
BXP202	127abede	22.6	15.8abcd	2.64bcd	6.7ab	82	3.5
BXP203	125abede	24.1	26.0abc	2.11cd	7.3ab	79	2.9
BXP204	117bcde	23.7	17.1abcd	1.52d	7.7ab	81	3.6
BXP205	117bcde	19.2	14.2abcd	4.17abc	8.7ab	84	3.5
BXP206	124abede	20.7	14.0abcd	1.81d	8.3ab	82	3.6
BXP207	120abede	19.3	18.3abcd	2.60bcd	8.3ab	80	3.5
BXP208	124abede	18.3	22.0abc	2.75abcd	8.3ab	78	3.8
BXP209	126abede	19.0	27.0ab	2.90abcd	8.7ab	81	4.0
BXP210	112e	22.4	11.8cd	2.91abcd	8.5ab	82	3.4
BXP211	146a	19.2	10.8d	1.28d	9.3a	80	3.7
BXP212	138abcd	22.0	14.7abcd	2.84abcd	9.0ab	80	2.9
BXP213	132abcd	21.9	7.0d	2.33bcd	8.7ab	78	3.6
BXP214	135abcd	22.2	17.4abcd	2.55bcd	6.7ab	81	3.4
BXP215	127abede	19.6	2.0d	2.52bcd	8.7ab	84	2.8
BXP216	104e	18.8	18.7abcd	3.78abc	7.7ab	81	3.8
BXP217	131abede	17.6	6.6d	4.98a	8.3ab	86	3.8
BXP218	111e	17.8	17.0abcd	2.16bcd	7.3ab	84	4.0
BXP219	108e	21.1	11.1cd	3.94abc	7.3ab	76	3.6
TUKEY 0.05	27.7	ns	13.13	2.33	2.80	ns	ns
BXP220	112de	21.6	15.0abcd	2.31bcd	8.0ab	80	3.7
BXP221	134abcd	17.4	23.2abc	1.74d	9.0ab	78	3.7
BXP222	126abede	21.3	16.6abcd	2.21bcd	8.3ab	80	4.1
BXP223	135abcd	19.3	21.6abcd	3.38abcd	7.3ab	81	3.7
BXP224	128abede	19.9	19.8abcd	3.05abcd	8.0ab	80	3.4
BXP225	137abcd	20.9	18.6abcd	3.39abcd	8.7ab	82	3.7
BXP226	129abede	17.8	12.6cd	4.77ab	7.3ab	78	3.7
BXP227	141abc	20.8	27.3a	4.48abc	8.0ab	80	3.6
BXP228	124abede	20.1	20.4abcd	1.87cd	7.7ab	80	3.5
BXP229	134abcd	19.4	20.3abcd	3.92abc	7.3ab	84	3.2
BXP230	119abede	20.0	21.9abcd	3.43abcd	7.7ab	81	4.1
BXP231	119abede	17.8	18.0abcd	3.59abcd	7.3ab	79	3.8
BXP232	142ab	21.6	20.0acd	1.80d	8.7ab	79	3.2
BXP233	131abede	22.4	21.9abcd	1.52d	6.3b	77	3.8
BC101R	112e	23.0	15.1abcd	3.80abc	7.0ab	81	3.2
BC102R	111e	16.9	18.4abc	3.96abc	8.7ab	80	3.5
BC103B	109e	20.1	13.1cd	3.37abcd	9.0ab	79	3.3
B2 8603	141abc	20.2	19.4abcd	3.74abc	8.7b	79	3.4
TUKEY 0.05	27.7	ns	13.13	2.33	2.80	ns	ns

Tabla 7 Rendimiento y características agronómicas de líneas B de sorgo

ALTP=altura planta; LPAN=largo panoja; EXC=excursión; REND=rendimiento; ACA=acame; DF=días a flor; P200G=peso 200 granos

Referencias

Asociación nacional de fabricantes de alimentos para consumo animal, SC. Memoria Económica. México. 2015. 70 p.

Borrel, A., D. Jordan and G. McLean. "Genetic variation for post-anthesis drought resistant traits in grain sorghum." Proc. 11th Aust. Agron. Conf. 2003. pp 1-15.

Briggs, F.N. and P.F. Knowles. "Introduction to plant breeding." Reinhold Publishing Corp. Davis, CA. 1967. pp. 147-173.

Estrada G., A., y H. H. Ángeles A. “Estimación de la aptitud combinatoria de líneas A y R de *Sorghum bicolor* (L.) Moench.” 1975. *Agrociencia* 21: 77-90.

Integrated Taxonomic Information System (ITIS). Retrieved May 18, 2006, from the Integrated Taxonomic Information System on-line database, www.itis.usda.gov. 2006.

Jiménez-Cordero, A., and J. Casas-Salas. “Relationship between general combining ability, yield and yield components of B-lines.” *Sorghum Newsletter*. 1983. 26:94. University of Arizona.

Kenga, R., S. O. Alabi, and S. C. Gupta. “Combining ability studies in tropical sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).” *Field Crops Res.* 2004. 88: 251-260.

León-Velasco, H., L. E. Mendoza-Onofre, F. Castillo-González, T. Cervantes-Santana, y Ángel Martínez-Garza. “Evaluación de dos generaciones de híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío. I. Variabilidad genética y adaptabilidad.” *Agrociencia* 2009. 43(5): 483-496.

León-Velasco, H., Leopoldo E. Mendoza-Onofre, F. Castillo-González, T. Cervantes-Santana, Á. Martínez-Garza. “Evaluación de dos generaciones de híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío. II: aptitud combinatoria, heterosis y heterobeltiosis.” *Agrociencia* 2009. 43: 609-623.

Maunder, B. Sorghum: “The global grain of the future, from national sorghum producers.” www.sorghumgrowers.com/Sorghum+101. 2006.

Mendoza O., L. E. “Formación de híbridos de sorgo para grano. II. Comportamiento per se de las líneas y su aptitud combinatoria general.” *Rev. Fitotec. Mex.* 1988. 11: 39-47.

Pohelman, J.M. “Breeding field crops.” Ed. Limusa Wiley, México, DF. 1965. pp.301-328.

Allard, R.W. “Principios de la mejora genética de las plantas.” Ed. Omega, Barcelona. 1967. pp. 128-177.

Quinby, J.R. and K.F. Schertz. “Sorghum genetics, breeding and hybrid seed production.” 1970. pp. 73-83. In: *Sorghum production and utilization*. AVI publishing co. Wall, J.S. and W.M. Ross (eds.). Westport, Connecticut.

Schertz, K.F. and J.C. Stephens. “Compilation of gene symbols, recommended revisions and summary of linkages for inherited characters of *Sorghum vulgare*, Pers.” Tech. monograph 3. Texas A&M University. 1966. 41 pp.

Stephens, J.C., G.H. Kuyendall and D.W. George. “Experimental production of hybrid sorghum seed with a three-way cross.” *Agronomy Journal*. 1952. 44:369-373.

Stephens, J.C. and R.F. Holland. “Cytoplasmic male sterility for hybrid sorghum seed production.” *Agronomy Journal*. 1954. 46:20-23.

Solanki, B. G., D. M. Patel, P. B. Patel, and R. T. Desai. “Combining ability in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] for yield and its attributing traits (II).” *Crop Res. (Hisar)*: 2007. 187-191.

Sprague, G. F., and L. A. Tatum. “General vs. specific combining ability in single crosses of corn.” *J. Amer. Soc. Agron.* 1942. 34: 923-932.

Yu, J., and M. R. Tuinstra. “Genetic analysis of seedling growth under cold temperature stress in grain sorghum.” *Crop Sci.* 2001. 41: 1438-1443.