

Producción y calidad de la semilla de sorgo en el Centro de México bajo polinización controlada

Production and quality of sorghum seed in Central Mexico under controlled pollination

 Andrea Pecina-Becerril¹  Ricardo Yáñez-López²  Juan Angel Quijano-Carranza²  Rafael Bujanos-Muñiz²  Enrique Andrio-Enriquez¹  Víctor Pecina-Quintero^{2*}

¹Tecnológico Nacional de México-Roque, Celaya, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Guanajuato, México.

*Autor de correspondencia: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Bajío. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km. 6.5; Celaya, Guanajuato, México
pecina.victor@inifap.gob.mx

Recibido: 18 de junio de 2020
Aprobado: 18 de junio de 2021
Publicado: 28 de octubre de 2021

Editor temático: Editor temático: Carlos Hernando Galeano (Crop Genetics at BASF)

Para citar este artículo: Pecina-Becerril, A., Yáñez-López R., Quijano-Carranza, J.A., Bujano-Muñiz, R., Andrio-Enriquez, E., & Pecina-Quintero, V. (2022). Producción y calidad de la semilla de sorgo en el Centro de México bajo polinización controlada. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(1), e2079.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num1_art:2079

Resumen: México importa el 99 % de la semilla de sorgo *Sorghum bicolor*. La producción de semillas representa menos del 1 % procedente de genotipos sobresalientes y adaptados. Esto incrementa costos de producción y genera problemas de adaptación de genotipos. La tecnología de producción debe adecuarse a los progenitores específicos y región del país, para incrementar la semilla. Este estudio evaluó la calidad de semillas de catorce líneas de sorgo (progenitoras de siete híbridos), de INIFAP. En el ciclo primavera-verano (P-V) del 2018, en Celaya Guanajuato, México, se establecieron tres fechas de siembra, 12 de mayo, 6 y 28 de junio, bajo un diseño de bloques al azar y tres repeticiones. Se evaluaron los días/floración, el peso de mil semillas, la germinación al momento de la cosecha y después de seis meses de almacenamiento. El análisis de varianza indicó diferencias significativas entre líneas (G), fechas de siembra (FS) en todas las variables y en la interacción G x FS para días a floración; donde las líneas androestériles (líneas A), presentaron diferencia de 8 a 10 días en días a floración con los progenitores masculinos (líneas restauradoras R) en la FS del 6 de junio lo que dificultaría la producción de semilla híbrida. En calidad de semilla a pesar de que se presentaron fuertes precipitaciones durante el llenado de grano y madurez fisiológica las líneas SBA-25, LBA-98, LBA-101 y la cruz SBA25 x SBR-31 sobresalieron por su alto porcentaje (%) de germinación y mantuvieron su calidad después de seis meses de almacenamiento.

Palabras clave: almacenamiento, androesterilidad, germinación, producción de semillas, *Sorghum bicolor*

Abstract: In Mexico, 99% of sorghum *Sorghum bicolor* seed is imported. This increases production costs and generates genotype adaptation problems. Although there are outstanding and adapted genotypes, seed production represents less than 1% of the total. The production technology must be adapted to the specific parents and region of the country, where the seed is increased. This study evaluated the quality of seeds of fourteen lines of sorghum (parents of seven hybrids), of INIFAP. In the spring-summer cycle (P-V) of 2018, in Celaya Guanajuato, México, three sowing dates were established, May 12, June 6 and 28, under a random block design and three repetitions. Days/flowering, weight of a thousand seeds, germination at harvest and after six months of storage were evaluated. The analysis of variance indicated significant differences between lines (G), sowing dates (FS) in all variables and in the G x FS interaction for days to flowering, where the male-sterile lines (lines A), presented a difference of 8 to 10 days in days to flowering with the male parents (restorer lines R), in the FS of June 6, which would hinder the production of hybrid seed. As seed quality, despite heavy rainfall during grain filling and physiological maturity, the lines SBA-25, LBA-98, LBA-101 and the cross SBA25 x SBR-31 stood out for their high germination percentage (%) and maintained its quality after six months of storage.

Keywords: germination, male sterility, seed production, *Sorghum bicolor*, storage



Introducción

El sorgo, es uno de los principales cultivos en México tanto por volumen de producción (6,5 millones de toneladas), como por superficie sembrada (2 millones de hectáreas) después del maíz y frijol (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2018). Se estima que cada año, más del 99% de la semilla utilizada para la siembra de sorgo es importada (Córdova-Téllez et al., 2019). Situación que ha provocado disminución en la rentabilidad del cultivo, al incrementar los costos de producción que aunados a los bajos precios de venta del grano, reducen la competitividad de los productores de México en relación con los de otros países (Williams et al., 2006). En la región del Bajío (Guanajuato, Jalisco y Michoacán), el costo de la semilla de sorgo varía del 15 % al 20 % del costo de producción del cultivo (Hernández & Pecina, 2015). En México se han generado genotipos de sorgo con características sobresalientes y adaptación a distintas regiones del país, sin embargo, la producción nacional de semillas en la actualidad representa menos del 1 % del volumen total (Córdova-Téllez et al., 2019).

A la fecha no se cuenta con un diagnóstico, sobre los factores que han limitado la producción nacional de semilla de este cultivo. Williams et al. (2006) informaron como posibles causas, el desconocimiento de la tecnología de producción de semillas, y el manejo de plagas y enfermedades. Aunque se han generado líneas e híbridos nacionales para distintas regiones y condiciones (Flores-Naveda et al., 2013; Galicia-Juárez et al., 2020; Mendoza-Onofre et al., 2017; Rodríguez et al., 1998) la producción de semilla híbrida de sorgo se limita a ciertas regiones de los estados de Tamaulipas, Sinaloa y Guanajuato, y a genotipos liberados por INIFAP (Williams et al., 2006).

Durante los últimos años en Guanajuato, se ha observado en los lotes de producción de semilla comercial, problemas de coincidencia en la floración de los progenitores, no así en Tamaulipas (Pecina et al., 2021). Es frecuente que líneas progenitoras que florecen simultáneamente en una localidad, al ser sembradas en otra localidad o en otra época del año presenten diferencias en floración de una semana o más (Cisneros-López et al., 2017; Olson et al., 2012). En condiciones de campo, el tiempo de floración en el sorgo varía de 50 a 150 días después de la siembra según el genotipo, localidad y la fecha de siembra (latitud / duración del día) y el medio ambiente (Singh et al., 2013). Por lo tanto, para poder establecer un programa de producción de semillas es necesario conocer el comportamiento de los progenitores a través de los años en distintas fechas de siembra y tomar en cuenta los factores climáticos, época de siembra y estabilidad del patrón de floración de los progenitores, para definir cuándo se deben de sembrar, tanto el progenitor hembra (línea A) como el macho (línea R).

Con base en lo anterior y con el fin de optimizar la tecnología de producción de semilla híbrida de sorgo en El Bajío Mexicano, se plantearon como objetivos: evaluar el comportamiento agronómico de diferentes líneas progenitoras e híbridos de sorgo generados en INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) y evaluar la calidad de la semilla después de la cosecha y almacenamiento.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en Celaya, Guanajuato México (Longitud 100°49'05" y Latitud 20°35'12"), a 1752 m s.n.m., con clima que varía entre semiseco y semicálido, precipitación pluvial promedio de 575,3 mm anuales y temperatura media anual de 20,85 °C (García, 1988). La siembra se efectuó durante el ciclo primavera-verano del año 2018, en tres fechas de siembra: 12 de mayo, 6 y 28 de junio.

La parcela experimental consistió en seis surcos de 5 m de longitud, dos surcos de la línea R, dos surcos de la línea A y dos surcos de la línea B, en tres repeticiones. El espacio entre surcos fue 0,76 m de ancho con una densidad de población de 350, 000 plantas/ha. Se utilizó un diseño de bloques al azar y tres repeticiones. El incremento de las líneas A y B se realizó bajo polinización manual de cada línea A con polen de su respectiva línea isogénica B mantenedora. La línea B se incrementó por autofecundación.

Al inicio de la apertura floral, las panojas se embolsaron, para evitar contaminación con polen extraño. Cuando las panojas de las líneas A, presentaron del 90 % o 100 % de estigmas receptivos, se procedió a la polinización con polen de la línea isogénica B correspondiente, identificando la cruza, para volver a cubrir la panoja de la línea A con una bolsa encerada hasta la cosecha, además de mantener después, las panojas de la línea B cubiertas para obtener semilla de autofecundación. De igual forma se realizaron los cruzamientos previstos de las líneas A con las líneas R y se identificaron debidamente los cruzamientos. Las panojas se mantuvieron con bolsas enceradas y debidamente identificadas hasta la cosecha.

Las polinizaciones se realizaron entre 10,0 y 11,0 horas am. En la tabla 1 se muestran las líneas androestériles, líneas mantenedoras y las líneas restauradoras de la fertilidad. El manejo agronómico fue acorde con el paquete tecnológico recomendado para el cultivo del sorgo en el Bajío por el INIFAP, para condiciones de riego (Hernández & Pecina, 2015). Las semillas cosechadas, se limpiaron y secaron al 12 % de humedad y se almacenaron en un recipiente de plástico en un cuarto con temperatura (T) ± 22 °C y humedad relativa (HR) ± 45 % durante un período de seis meses de almacenamiento. Las variables evaluadas fueron: días a floración, peso de mil semillas de una muestra compuesta de al menos 12 panojas por parcela y genotipo. La prueba de germinación estándar se realizó en toallas de papel absorbente bajo un diseño completamente al azar y tres repeticiones de 50 semillas. La variable evaluada fue número de plántulas normales expresado en porcentaje. (Cisneros-López & Mendoza-Onofre, 2010). La prueba de germinación inicial se realizó después de la cosecha y a los seis meses después del almacenamiento en Celaya Guanajuato. Las condiciones climáticas que prevalecieron en el ciclo PV-2018 se muestran en la tabla 2.

Los análisis estadísticos de varianza por fecha de siembra y combinado (ANOVA) se realizaron utilizando el software SAS 9.4 (Advanced Analytical Software) y la comparación de medias de Tukey cuando se observaron diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 1. Líneas androestériles, mantenedoras, restauradoras de la fertilidad e híbridos experimentales y comerciales de sorgo, evaluados en tres fechas de siembra, en el ciclo primavera-verano del 2018, Celaya, Guanajuato, México.

Híbrido	Progenitor Femenino (Línea A)	Mantenedor de la androesterilidad (Línea B)	Restaurador de fertilidad (Línea R)
Experimental-1	SBA-12	SBB-12	SBR-31
Experimental-2	SBA-22	SBB-22	SBR-21
Experimental-3	SBA-22	SBB-22	LBR-440
Experimental-4	LBA-98	LBB-98	SIN-55
Experimental-5	LBA-101	LBB-101	SBR-31
RB-Norteño	SBA-22	SBB-22	SBR-31
RB-Huasteco	SBA-25	SBB-25	SBR-31

Tabla 2. Condiciones climáticas prevaleciente durante ciclo PV-2018 en Celaya Guanajuato, México.

Mes	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)
Mayo	36,4	9,6	46,3	29,2
Junio	34,3	12,2	66,5	241
Julio	30,8	9,7	66,9	69
Agosto	29,6	9,7	71,4	130,8
Septiembre	29,4	11	76,7	197,6
Octubre	29,7	8,6	72,8	55

Resultados y discusión

Hubo efecto de la fecha de siembra (FS) en días a floración como se observó en los resultados del análisis individual y combinado (tabla 3). También hubo efecto del genotipo (G) y en la interacción G x FS. Los genotipos restauradores de la fertilidad (líneas R) presentaron un patrón muy similar de floración (79 a 81 días) y tienden a coincidir con las líneas androesteriles SBA-25, LBA-98 y LBA-101, en la primera y tercera FS (tabla 4), lo que indica que la producción de semilla híbrida con estos genotipos no tendría problemas por el efecto de la fecha de siembra, dada la coincidencia en la floración en estos periodos.

En tanto, las líneas androestériles SBA-12 y SBA-22 resultaron en promedio 6 días más tardías que las líneas restauradoras de la fertilidad. Mientras que en la segunda FS (6 de junio) todos los pares isogénicos se vieron afectados en forma significativa por las condiciones ambientales, al

presentar hasta 10 días de diferencia con los progenitores masculinos, algunos investigadores mencionan que es frecuente que líneas progenitoras que florecen simultáneamente en una localidad, al ser sembradas en otra localidad o en otra época del año presenten diferencias en floración de una semana o más, dependiendo del genotipo, la ubicación, la fecha de siembra (latitud/duración del día) y el ambiente (Cisneros-López et al., 2017; Olson et al., 2012).

Por lo tanto, para poder producir semilla híbrida con estas líneas es necesario utilizar alguna estrategia para aumentar la sincronía floral entre progenitores tales como: sembrar con diferencial la hembra y el macho o bien, sembrar ambos progenitores al mismo tiempo y durante el desarrollo vegetativo monitorear el punto de crecimiento en ambos progenitores después de los 30 días de la emergencia y determinar si existe un desfase entre los mismos, si esto ocurre utilizar alguna práctica cultural para adelantar o retrasar la floración en los genotipos como lo sugieren Priyanka et al. (2017) y Tejagouda-Bhanuje et al. (2014).

Así mismo se observó que las cinco líneas isogénicas A y B presentaron sincronía en la floración en las tres fechas de siembra establecidas lo que es un factor fundamental en la producción de semilla de sorgo (Asfaw & Tesfaye, 2008) ya que la diferencia entre las mismas fue de solo un día (tabla 4). En sorgo hay variaciones en el citoplasma que interactúan con factores ambientales que pueden acentuar las diferencias entre las líneas A y su contraparte línea B (Moran et al., 2002). Cisneros et al. (2009) reportaron diferencias en un día entre líneas A y B al comparar dos años consecutivos, lo que coincide con lo reportado en este estudio, además, los pares isogénicos A/B, por lo general solo difieren en la producción de polen y algunos otros rasgos atribuibles a las diferencias en su citoplasma (Fortmeier & Schubert, 1995), por lo tanto, el incremento de semilla de los progenitores femeninos se puede realizar independientemente de la FS en que se realice.

Tabla 3. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para días a floración, peso de mil semillas, germinación inicial y germinación final de líneas e híbridos de sorgo, en tres fechas de siembra en el ciclo primavera-verano del 2018, evaluados en Celaya, Guanajuato, México.

FV	GL	Días a Flor	Peso de Mil Semillas	Germinación Inicial	Germinación Final
Genotipo	20	49,76**	1,68**	531,41**	1493,24**
FS	2	731,72**	4,58**	1238,41**	8892,96**
G x FS	40	10,75**	1,07 ^{NS}	80,25 ^{NS}	499,95 ^{NS}
Bloques	2	0,15 ^{NS}	0,87 ^{NS}	365,46 ^{NS}	2843,74 ^{NS}
Error	120	3,36	0,49	57,47	326,23

FV: factor de variación, GL: grados libertad, FS: fecha de siembra, G: genotipo.

* Significativo $p \leq 0,05$.

** Altamente significativo ($p \leq 0,01$).

^{NS} No significativo.

Tabla 4. Días a antesis de líneas A, B y R de sorgo en tres fechas de siembra en el ciclo primavera-verano del 2018, en Celaya, Guanajuato, México.

No.	Genotipo	FS	FS	FS	Promedio
		12 de mayo	06 de junio	28 de junio	
1	SBR-21	81 c	84 c	81 c	82 de
2	SBR-31	79 c	84 c	80 c	81 e
3	LBR-440	80 c	84 c	80 c	81 e
4	SIN-55	79 c	84 c	80 c	81 e
5	SBA-12	86 ab	94 a	86 ab	88 ab
6	SBB-12	87 a	94 a	87 a	89 a
7	SBA-22	86 ab	94 a	86 ab	89 a
8	SBB-22	87 a	94 a	87 a	89 a
9	SBA-25	81 c	92 ab	81 c	84 cd
10	SBB-25	81 c	92 ab	81 c	84 cd
11	LBA-98	81 c	92 ab	81 c	84 cd
12	LBB-98	82 b	93 ab	82 bc	86 bc
13	LBA101	80 c	91 b	80 c	84 cd
14	LBB101	82 b	91 b	82 bc	85 bc
	DMS	4,5	2,4	4,3	2,9

*Genotipos en la misma columna con la misma letra no son significativamente diferentes. DMS: Tukey ($p \leq 0,05$).

* Genotypes in the same column with the same letter are not significantly different. DMS: Tukey ($p \leq 0,05$).

En el análisis de varianza se observó que el peso de mil semillas (PMS) fue altamente significativo entre G y FS, lo mismo se observó en el análisis combinado (tabla 4), mientras que en la interacción G x FS no fue así. En la tabla 5 se puede observar los valores medios de cada genotipo, donde la línea SBR-21 presenta el mayor PMS en la FS de 12 de mayo (37,9 g) y en la segunda FS el genotipo SBA-25 con 45,1 g, mientras que la línea SBR-31 el menor en estas dos FS (20,9 y 17,8 g). También se puede observar que la semilla resultado del cruzamiento entre el progenitor femenino (líneas A) y masculino (líneas R) presenta valores de más de 30 g en PMS, lo que es común durante la polinización manual ya que el éxito en la polinización no es del 100 % por lo que la semilla formada es de mayor peso y tamaño (Flores-Naveda et al., 2013). En la tercera FS (28 de junio) se obtuvieron valores más bajos en PMS debido probablemente a las condiciones de clima que prevalecieron en el ciclo PV 2018 (tabla 2) que afectaron a los genotipos, a pesar de lo anterior el peso promedio entre genotipos varía de 20 g a 35 g, valores considerados normales para el sorgo (ISTA, 2016).

Tabla 5. Peso de mil semillas de líneas e híbridos de sorgo, evaluados en tres fechas de siembra en el ciclo primavera-verano del 2018, en Celaya Guanajuato, México.

No.	Genotipo	FS	FS	FS	Promedio
		12 de mayo	06 de junio	28 de junio	
1	SBR-21	37,9 a	37,7 ab	29,3 abcdefg	34,9 ab
2	SBR-31	20,9 e	17,8 d	22,9 fg	20,5 d
3	LBR-440	28,9 bcde	28,9 bcd	21,9 g	25,6 cd
4	SIN-55	31,7 abcd	31,7 bc	26,8 cdefg	30,0 abc
5	SBA-12	35,2 abc	35,2 abc	34,1 abc	34,8 abc
6	SBB-12	32,1 abcd	32,1 abc	28,0 bcdefg	30,7 abc
7	SBA-22	32,3 abcd	29,5 bcd	33,3 abcd	31,7 abc
8	SBB-22	30,0 abcd	30,0 bcd	35,1 ab	31,7 abc
9	SBA-25	37,2 ab	45,1 a	31,5 abcde	37,9 a
10	SBB-25	31,3 abcd	28,3 bcd	27,9 bcdefg	29,1 bcd
11	LBA-98	28,6 cde	28,6 bcd	29,7 abcdef	28,9 bcd
12	LBB-98	26,2 de	26,2 bcd	24,4 efg	25,6 bcd
13	LBA101	29,4 bcd	29,4 bcd	30,4 abcdef	29,7 abc
14	LBB101	27,3 cde	27,3 bcd	26,3 defg	26,9 bcd
15	SBA-12XSBR-31	34,7 abc	22,9 cd	28,3 bcdefg	28,6 bcd
16	SBA-22XSBR-21	34,9 abc	32,1 abc	31,6 abcde	32,8 abc
17	SBA-22XSBR-31	31,9 abcd	31,9 abc	34,0 abc	32,6 abc
18	SBA-22XLBR-440	33,2 abcd	33,2 abc	34,3 abc	33,5 abc
19	SBA-25XSBR-31	38,3 a	34,0 abc	23,6 fg	31,9abc
20	LBA-98XSIN-55	34,4 abcd	34,4 abc	33,6 abcd	34,1 abc
21	LBA-101XSBR-31	35,3 abc	35,3 abc	36,1 a	35,5 ab
	DMS	8,4	13,2	7,6	8,6

*Genotipos en la misma columna con la misma letra no son significativamente diferentes. DMS: Tukey ($p \leq 0,05$).

* Genotypes in the same column with the same letter are not significantly different. DMS: Tukey ($p \leq 0,05$).

Hubo efecto significativo del G y FS en el análisis independiente, al igual que en el análisis combinado para germinación inicial de la semilla después de la cosecha, no así en la interacción G x FS (tabla 3). Los genotipos mostraron diferencias en esta variable entre fechas de siembra. En la FS del 12 de mayo (tabla 6) se observó que los genotipos que tuvieron un porcentaje superior al promedio (87,7 %) fueron SBA-25, LBA-98, LBA-101 y la cruce SBA25 x SBR-31, hasta materiales que presentan valores inferiores como SBR-21 (68 %) y SBA 22 (74 %). Además, se pueden observar diferencias entre FS, donde la FS del 12 de mayo presenta los mayores valores de germinación para disminuir paulatinamente hasta la FS del 28 de junio, aunque hay genotipos cuyo comportamiento es similar a través de las FS. Es probable que las diferencias en esta variable de calidad entre genotipos se deba a las diferencias genéticas entre los progenitores y al ambiente (Cisneros-López & Mendoza-Onofre, 2010). En este ciclo PV de 2018 se presentaron fuertes precipitaciones (tabla 2) durante el periodo de llenado de grano y madurez fisiológica (agosto y septiembre) lo que afectó la calidad de la semilla de algunos genotipos.

Tabla 6. Germinación inicial de líneas e híbridos de sorgo, evaluados en tres fechas de siembra en el ciclo primavera-verano del 2018, en Celaya, Guanajuato, México.

No.	Genotipo	FS	FS	FS
		12 de mayo	06 de junio	28 de junio
1	SBR-21	68,3 g	66,7 d	61,0 h
2	SBR-31	81,7 cdefg	72,7 cd	68,7 fgh
3	LBR-440	84,7 bcdef	68,3 d	65,3 gh
4	SIN-55	90,3 abcde	69,3 cd	69,7 efgh
5	SBA-12	79,0 efg	87,7 ab	75,3 cdefg
6	SBB-12	93,3 abcd	90,7 ab	81,0 abcde
7	SBA-22	74,0 fg	91,7 ab	79,3 bcdef
8	SBB-22	94,3 abcd	86,3 ab	81,7 abcd
9	SBA-25	99,3 a	93,3 ab	89,3 ab
10	SBB-25	97,3 ab	94,3 a	88,0 ab
11	LBA-98	99,3 a	94,7 a	92,3 a
12	LBB-98	95,0 abc	93,3 ab	85,3 abcd
13	LBA101	89,7 abc	89,7 ab	82,0 abcd
14	LBB101	95,3 abc	90,3 ab	80,7 bcde
15	SBA-12XSBR-31	81,0 defg	88,3 ab	74,7 defg
16	SBA-22XSBR-21	87,0 abcdef	92,3 ab	85,7 abc
17	SBA-22XSBR-31	80,7 defg	94,0 ab	78,3 bcdef
18	SBA-22XLBR-440	81,7 cdefg	90,7 ab	86,3 abc
19	SBA-25XSBR-31	99,3 a	90,3 ab	84,7 abcd
20	LBA-98XSIN-55	81,7 cdefg	81,7 bc	83,3 abcd
21	LBA-101XSBR-31	89,3 abcde	88,0 ab	81,7 abcd
	DMS	13,7	12,4	11,3

*Genotipos en la misma columna con la misma letra no son significativamente diferentes. DMS: Tukey ($p \leq 0,05$).

* Genotypes in the same column with the same letter are not significantly different. DMS: Tukey ($p \leq 0,05$).

Los resultados del análisis de varianza indicaron efecto y diferencias entre genotipos en la germinación de la semilla, después de seis meses de almacenamiento (tabla 7). Además, los cambios estuvieron relacionados con la calidad inicial de la semilla. Los genotipos de alta calidad intrínseca mantienen su germinación bajo las condiciones de almacenamiento tales como ± 45 % de HR y ± 22 °C de T. En la primer FS los genotipos SBB-22, SBA-25, SBB-25, LBA-98, LBB-98, LBA-101 y LBB-101 tuvieron más del 90 % de germinación, en tanto los genotipos SBR-21 y SBR-31 su germinación disminuyó a 40 % y 49 %.

En la segunda FS sucedió algo similar entre los genotipos, mientras que en la tercer FS el porcentaje de germinación a los seis meses afecto fuertemente a los genotipos de mala calidad debido a que el deterioro de la semilla en esta FS inicio desde antes de la cosecha en el campo, como consecuencia de las precipitaciones atípicas durante este ciclo de producción (tabla 2) lo que afecto la calidad en mayor o menor proporción dependiendo del genotipo. La calidad

fisiológica de la semilla puede atribuirse a las diferencias genéticas, lo que influye en la tasa de deterioro, germinación y vigor del genotipo (Kandil et al., 2013).

En este estudio, las líneas SBA-25, LBA-98, LBA-101 y la cruza SBA25 x SBR-31 sobresalen por su alto porcentaje de germinación y mantienen su calidad después de un periodo de seis meses de almacenamiento. En tanto que, en genotipos que presentan baja calidad, el número de semillas muertas aumenta y su germinación disminuye drásticamente por efecto del almacenamiento y el deterioro inicial (grado de daño) después de la cosecha (Azadi & Younesi, 2013; Siadat et al., 2012). Kapoor et al. (2010) informaron que la tasa de deterioro aumenta rápidamente al aumentar el contenido de humedad de la semilla o de la temperatura de almacenamiento en este caso una HR de como $\pm 45\%$ y $\pm 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ de T, no fue la idónea.

Así mismo, la línea LRB-21 a pesar de tener uno de los valores más altos en PMS (34,9 g), es muy pobre en calidad de semilla (% de germinación) debido probablemente a factores genéticos, sin embargo, su valor como progenitor masculino es muy alto ya que produce híbridos de alto potencial productivo, tolerancia a altas temperaturas y déficit de humedad (Williams et al., 2004).

Tabla 7. Germinación de líneas e híbridos de sorgo después de seis meses de almacenamiento bajo condiciones naturales, producidas en el ciclo primavera-verano del 2018, en Celaya, Guanajuato, México.

No.	Genotipo	FS 12 de mayo	FS 06 de junio	FS 28 de junio
1	SBR-21	40,3 g	65,0 bcde	42,5 bcdef
2	SBR-31	49,3 fg	62,2 cde	36,8 cdef
3	LBR-440	76,3 abcde	49,5 e	25,7 ef
4	SIN-55	81,8 abcde	81,8 abcd	52,7 abcdef
5	SBA-12	61,5 defg	82,5 abcd	28,7 def
6	SBB-12	84,0 abcd	85,5 abcd	28,7 def
7	SBA-22	56,2 efg	89,3 abc	73,5 ab
8	SBB-22	90,5 abc	79,3 abcd	43,2 bcdef
9	SBA-25	95,3 a	86,8 abc	81,5 a
10	SBB-25	93,0 ab	89,0 abc	75,0 ab
11	LBA-98	94,3 ab	87,8 abc	83,5 a
12	LBB-98	89,8 abc	87,0 abc	60,0 abcd
13	LBA101	93,2 ab	82,3 abcd	77,2 a
14	LBB101	91,8 abc	84,0 abcd	58,8 abcde
15	SBA-12XSBR-31	62,5 defg	61,7 cde	24,2 f
16	SBA-22XSBR-21	72,0 abcdef	89,2 abc	71,7 ab
17	SBA-22XSBR-31	65,7 cdefg	93,0 ab	69,8 abc
18	SBA-22XLBR-440	70,3 abcdef	84,8 abcd	68,8 abc
19	SBA-25XSBR-31	95,7 a	85,2 abcd	54,0 abcdef
20	LBA-98XSIN-55	68,7 bcdef	56,7 de	82,3 a
21	LBA-101XSBR-31	80,5 abcde	82,7 abcd	70,8 ab
	DMS	26,36	29,56	33,22

*Genotipos en la misma columna con la misma letra no son significativamente diferentes. DMS: Tukey ($p \leq 0,05$).

* Genotypes in the same column with the same letter are not significantly different. DMS: Tukey ($p \leq 0,05$).

Conclusiones

Se observó un efecto de la fecha de siembra en los días a floración de los genotipos, al presentar las líneas androestériles (líneas A) de 8 a 10 días de diferencia con los progenitores masculinos (líneas restauradoras R), en la FS del 6 de junio. Se sugiere el uso de medidas culturales para lograr la coincidencia entre progenitores cuando se presente este problema. A pesar de que se presentaron fuertes precipitaciones durante el periodo de llenado de grano y madurez fisiológica, las líneas SBA-25, LBA-98, LBA-101 y la cruza SBA25 x SBR-31 sobresalieron por su alto % de germinación. En tanto la línea LRB-21 aunque presentó baja calidad de semilla y se deteriora fácilmente, tiene un alto valor como progenitor masculino ya que produce híbridos de alto potencial productivo, tolerancia a altas temperaturas y déficit de humedad.

Descargos de responsabilidad

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento y están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Referencias

- Asfaw, A., & Tesfaye, T. (2008). Seed production potential of ICRISAT-bred parental lines of two sorghum hybrids in the central Rift-Valley of Ethiopia. *Journal of the SAT Agricultural Research*, 6, 1-6. http://ejournal.icrisat.org/Volume6/Sorghum_Millet/Asfaw_Adugna_Seed_Production.pdf
- Azadi, M. S., & Younesi, E. (2013). The effects of storage on germination characteristics and enzyme activity of sorghum seeds. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 9(4), 289-298. http://www.jspb.ru/issues/2013/N4/JSPB_2013_4_289-298.pdf
- Cisneros-López, M. E., Mendoza-Onofre, L. E., Zavaleta-Mancera, H. A., González-Hernández, V. A., Córdova-Télez, L., Hernández-Martínez, M., & Mora-Aguilera, G. (2009). Floral traits and seed production of sorghum a-b and r-lines under chilling field temperatures. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(6), 464-471. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037x.2009.00399.x>
- Cisneros-López, M. E., & Mendoza-Onofre, L. E. (2010). Influencia del genotipo y fecha de siembra en la calidad de semilla de sorgo infectada con ergot. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(1), 69-77. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2009.00399.x>
- Cisneros-López, M. E., Valencia-Botín, A. J., & Estrada-Girón, Y. (2017). Sorghum (*Sorghum bicolor*) pollen availability and seed set under different proportion male:female plants in Mexican highlands. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrícolas (UNCUYO)*, 49, 51-66. <https://doi.org/10.35196/rfm.2010.1.69>
- Córdova-Télez, L., Caballero-García, M. A., Hernández-Nicolás, N. Y., & Ríos-Santos E. (2019). *Boletín informativo de producción de semilla calificada por el SNICS*. [Boletín Informativo Vol 1] (96 pp.). Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/503515/Boletin_FINAL_OCT.pdf

- Flores-Naveda, A., Valdés-Lozano, C. G. S., Zavala-García, F., Olivares-Sáenz, E., Gutiérrez-Díez, A., & Vázquez-Badillo, M. E. (2013). Comportamiento agronómico de líneas para la producción de semilla de sorgo. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), 111-118. <https://doi.org/10.15517/am.v24i1.9646>
- Fortmeier, R., & Schubert, S. (1995). Storage of non-structural carbohydrates in sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench): comparison of sterile and fertile lines. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 175, 189-193. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1995.tb00210.x>
- Galicia-Juárez, M., Sinagawa-García, S., Gutiérrez-Díez, A., Williams-Alanís, H., & Zavala-García, F. (2020). Termotolerancia en líneas de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para grano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas (REMEXCA)*, 11(1), 221-227. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i1.1945>
- García, E. (1988). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Instituto de Geografía. México, D. F. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Hernández-Martínez, M., & Pecina-Quintero, V. (2015). Guía para la producción de sorgo. En A. Mandujano-Bueno, R. Paredes-Melesio, M. del P. Alamilla-Gómez, & F. Buenrostro-Rodríguez (Eds.), *Guía para la producción de maíz, frijol, trigo y sorgo en Guanajuato. Libro técnico No.4* (pp. 139-167). Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria (INIFAP). México.
- ISTA (International Seed Testing Association). (2016). *International rules for seed testing*. Ed. ISTA, Suiza.
- Kandil, A. A., Sharief, A. E., & Sheteiwy, M. S. (2013). Seedling parameters of soybean cultivars as influenced with seed storage periods, conditions and materials. *International Journal of Agriculture Sciences*, 5(1), 330-338. <https://doi.org/10.9735/0975-3710.5.1.330-338>
- Kapoor, N., Arya, A., Siddiqui, M.A., Amir, A., & Kumar, H. (2010). Seed deterioration in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under accelerated ageing. *Asian Journal of Plant Sciences*, 9(3), 158-162. <https://doi.org/10.3923/ajps.2010.158.162>
- Mendoza-Onofre, L. E., Cisneros-López, M. E., Galicia-Juárez, M., & Hernández-Martínez, M. (2017). Líneas mantenedoras (Líneas B) y restauradoras (líneas R) de sorgo granífero adaptadas a los Valles Altos centrales de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(1), 107-110. <https://doi.org/10.35196/rfm.2017.1.107-110>
- Moran, J. L., Rooney, W. L., Frederiksen, R. A., & Odvody, G. N. (2002). Differences in ergot vulnerability among sorghum genotypes and relationship between stigma and receptivity and ergot vulnerability. In J.F. Leslie (Ed.), *Sorghum and millets diseases* (pp. 113-119). Iowa State Press, Ames, IA, EEUU. <https://doi.org/10.1002/9780470384923.ch21>
- Olson, S.N., Ritter, K., Rooney, W., Kemanian, A., McCarl, B. A., Zhang, Y., Hall, S., Packer, D., & Mullet, J. (2012). High biomass yield energy sorghum: developing a genetic model for C4 grass bioenergy crops. *Biofuels, Bioprod, Biorefining*, 6(3), 246-56. <https://doi.org/10.1002/bbb.1357>
- Pecina-Quintero, V., Herrera-Corredor, C., Hernández-Martínez, M., Montes-García, N., & Moreno-Gallegos, T. (2021). Producción de semilla de híbridos de sorgo. Libro técnico. No.1. Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria (INIFAP). México. (En prensa)
- Priyanka, M., Gurumurthy, R., & Deshpande, V. K. (2017). Influence of synchronization techniques and dates of sowing on nicking in parental lines of pearl millet hybrid bpmh-3 seed production. *Advanced Crop Science and Technology*, 5(6), 319. doi.org/10.4172/2329-8863.1000319

- Rodríguez, R., Narváez, F., & Williams, H. (1998). Calidad de la semilla de líneas e híbridos de sorgo sometidos a intemperismo. *Agronomía Mesoamericana*, 9(2), 45-50. <https://doi.org/10.15517/am.v9i2.19469>
- SAS. 2019. Advanced Analytical Software 9.4. https://www.sas.com/es_co/solutions/analytics.html
- Siadat, S. A., Moosavi, A., & Sharafizadeh, M. (2012). Effect of seed priming on antioxidant activity and germination characteristics of maize seeds under different ageing treatments. *Research Journal of Seed Science*, 5(2), 51-62. <https://doi.org/10.3923/rjss.2012.51.62>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2018). Avance de estadísticas agropecuarias anuales. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.d_o
- Singh, R. P., Prasad, P. V. V., & Reddy, K. R. (2013). Impacts of changing climate and climate variability on seed production and seed industry. *Advances in Agronomy*, 118, 49-110. doi.org/10.1016/B978-0-12-405942-9.00002-5
- Tejagouda-Bhanuje, R. B., Jolli, B. S., Vyakaranahal, R., Gurumurthy, A. K., Guggariand, G., & Sajjanar, M. (2014). Effect of staggered sowing and split application of nitrogen in seed production of pearl millet hybrid MH-946. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 27(1), 9-13. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.969.6625&rep=rep1&type=pdf>
- Williams-Alanís, H., Pecina-Quintero, V., Zabala-García F., & Montes-García, N. (2004). RB-Patrón, Nuevo Híbrido de Sorgo para Grano en El Noreste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(3), 291-293. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61027311>
- Williams, H., Montes, N., & Pecina, V. (2006). Sorgo. En L.A. Rodríguez del Bosque (Ed.), *50 años de investigación agropecuaria en el norte de Tamaulipas, historia, logros y retos* (pp. 33-54). Libro técnico No. 1. CERIB, INIFAP. Cd. Río Bravo, Tamaulipas México.