

Análisis de las generaciones F₁ y F₂ de híbridos experimentales y comerciales de sorgo*

Analysis of the F₁ and F₂ generations of experimental and commercial hybrid sorghum

Luis Alberto Hernández Espinal^{1§} y Tomás Moreno Gallegos¹

¹Campo Experimental Valle de Culiacán-INIFAP. Carretera Culiacán-El Dorado, km 17.5. Culiacán. Sinaloa, México. Tel. 01 6678461014. (moreno.tomas@inifap.gob.mx). [§]Autor de correspondencia: hernandez.luisalberto@inifap.gob.mx.

Resumen

El precio de la semilla híbrida F₁ de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] es de alto costo, los productores de temporal principalmente, siembran semilla de generación avanzada o F₂. El objetivo del presente estudio fue evaluar el rendimiento de grano de sorgo de la generación F₂, respecto a la F₁. Se estimó la relación beneficio costo (B/C) de 20 híbridos experimentales y 14 comerciales de sorgo, bajo condiciones de riego, en el CEVACU, Culiacán, Sinaloa, México. De 2010 a 2012, se establecieron dos experimentos, con un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. En promedio el rendimiento de grano se redujo 50.79% en F₂ con respecto a F₁. El mayor rendimiento de grano en la F₁, se obtuvo en el híbrido experimental SHS-23 x 43 (7 109 kg ha⁻¹) y el híbrido comercial G STAR 7304 (6 813 kg ha⁻¹). La relación B/C promedio de la generación F₂ fue menor con 45.61% con respecto a F₁. Los resultados obtenidos, indican que el uso de semilla de la generación avanzada o F₂, no es recomendable ya que en promedio en más de 90% de los híbridos de sorgo la relación B/C es negativa, siendo no rentable para la producción de grano.

Palabras clave: *Sorghum bicolor* (L.) Moench., beneficio/costo, rendimiento.

Abstract

The price of the F₁ hybrid seed of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] is expensive, rainfed producers mainly sow seed advanced or F₂ generation. The aim of this study was to evaluate the yield of grain sorghum F₂ generation, compared to F₁. We estimated the cost-benefit ratio (B/C) of 20 experimental and 14 commercial hybrid sorghum under irrigated conditions in the CEVACU, Culiacán, Sinaloa, Mexico. From 2010-2012, two experiments were established with a complete block design with three replications. The average grain yield was reduced 50.79% in F₂ with respect to F₁. The highest grain yield in F₁ hybrid obtained in experimental SHS- 23 x 43 (7 109 kg ha⁻¹) and commercial hybrid G STAR 7304 (6813 kg ha⁻¹). The B/C average F₂ generation was lower with 45.61% with respect to F₁. The results indicate that the use of advanced generation seed or F₂ is not recommended because on average over 90% sorghum hybrids the B/C is negative, being uneconomical for the production of grain.

Key words: *Sorghum bicolor* (L.) Moench., benefit/cost, yield.

* Recibido: mayo de 2013
Aceptado: octubre de 2013

Introducción

México es el cuarto productor mundial de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench.) con una participación de 10% de la producción mundial; sin embargo, es el principal importador de éste grano con un volumen promedio de 2.35 millones de toneladas (SIAP, 2012).

En México en 2011 se sembraron alrededor de 1 972 312 hectáreas de sorgo para grano, con una producción total de 6 millones 429 mil toneladas de grano (SIAP, 2012). De la superficie total sembrada 98% se cubre con semilla híbrida producida por compañías extranjeras (Montes-García *et al.*, 2012).

En México, 94.3% del sorgo se destina a la elaboración de alimentos balanceados para la producción pecuaria y en los últimos años, se ha observado un crecimiento del consumo en el país. En la formulación de raciones para monogástricos, el sorgo constituye más de 60% de la dieta, lo que significa en términos económicos y de volumen que es la materia prima más importante en la industria de alimentos balanceados. En México el sorgo no se introduce en la alimentación directa del hombre, pero sí en forma indirecta ya que el mexicano lo consume a través de alimentos de alto valor nutritivo, como son la carne de pollo, res y cerdo y el huevo principalmente (Gámez-González *et al.*, 2010).

El estado de Sinaloa destaca a nivel nacional por el volumen y valor de su producción pecuaria, donde es relevante la producción de carne de bovinos y aves (Moreno *et al.*, 2010; Hernández-Espinal *et al.*, 2010a; Hernández-Espinal *et al.*, 2010b).

Sinaloa ocupa el segundo y tercer lugar nacional en superficie sembrada y producción de grano de sorgo, respectivamente. En 2011, se sembró 308 mil 057 ha, con una producción de 617 mil 852 t de grano de sorgo. En la entidad, 70% del sorgo se cultiva bajo condiciones de temporal, mientras que 30% bajo riego, con rendimientos promedio de 1 t ha⁻¹ y 6.49 t ha⁻¹ de grano, respectivamente (SIAP, 2012).

Entre los principales problemas que enfrenta el cultivo del sorgo bajo temporal en Sinaloa, son la sequía, causada por la distribución errática de lluvias y el escaso uso de prácticas de conservación y aprovechamiento de la humedad. Otro aspecto relevante en el cultivo del sorgo son las enfermedades ocasionadas por hongos que provocan pérdidas en la producción de forraje verde y grano (Hernández-Espinal *et al.*, 2011a; Hernández-Espinal *et al.*, 2011b). Además del uso de semilla

Introduction

Mexico is the fourth largest producer of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench.) with a 10% of world production; however, is the main importer of this grain with an average volume of 2.35 million tons (SIAP, 2012).

In Mexico in 2011 were planted around 1 972 312 hectares of sorghum for grain, with a total of 6 million 429 thousand tons of grain (SIAP, 2012). Of the total area sown 98% is covered with hybrid seed produced by foreign companies (Montes-García *et al.*, 2012).

In Mexico, 94.3% of the sorghum is for the preparation of feed for livestock production and in recent years, there has been a growth in consumption in the country. In formulating rations for monogastric, sorghum is more than 60% of the diet, which means in economic terms and in volume is the most important raw material in the feed industry. In Mexico sorghum is not entered in direct human food, but in an indirect way since the Mexican consuming through highly nutritious foods, such as chicken, beef and pork and egg mainly (Gámez-González *et al.*, 2010).

The state of Sinaloa out nationally by the volume and value of livestock production, which is relevant to the production of meat and poultry plants (Moreno *et al.*, 2010; Hernández-Espinal *et al.*, 2010a; Hernández-Espinal *et al.*, 2010b).

Sinaloa ranks second and third in the nation in production acreage and grain sorghum, respectively. In 2011, he planted 308 000 057 ha, with a production of 617 000 852 t of grain sorghum. In the State, 70% of sorghum is grown under rainfed conditions, while 30% under irrigation, with average yields of 1 t ha⁻¹ and 6.49 t ha⁻¹ grain, respectively (SIAP, 2012).

Among the major problems facing the low temporal sorghum in Sinaloa are drought, caused by erratic rainfall distribution and the low use of conservation practices and use of moisture. Another important aspect in growing sorghum are the diseases caused by fungi that cause losses in production of green fodder and grain (Hernández-Espinal *et al.*, 2011a; Hernández-Espinal *et al.*, 2011b). Besides the use of advanced generation seed (F₂ from the basket as it is known among farmers) harvest for the next planting, resulting in reduced grain yields. Using this practice for decades, losing the native open pollinated varieties and the high cost of hybrid seed produced by foreign companies.

de generaciones avanzadas (F₂ del canasto como se denomina entre los agricultores) de la cosecha para las siguientes siembras, lo que ocasiona reducción en los rendimientos de grano. Utilizando esta practica por varias décadas, al perder las variedades de polinización libre nativas y por el alto costo de la semilla híbrida producida por compañías extranjeras.

Esta práctica tiene implicaciones para la producción e ingresos de los productores, ya que se presenta una reducción en la capacidad productiva de los híbridos, debido principalmente al efecto de la pérdida de heterosis. Ésta reducción depende de varios factores, incluyendo el tipo y la constitución genética del híbrido y el nivel de endogamia de sus líneas (Espinosa-Calderón *et al.*, 1998). Palacios-Velarde *et al.* (2001) reporta, que el uso de las variedades de polinización libre de sorgo generalmente tienen menor potencial de rendimiento que los híbridos, hay que considerar que tienen la ventaja de que la semilla es más fácil de producir, es más barata y los agricultores pueden conservar y producir su propia semilla y con esto hay una reducción significativa de costos.

En varios estudios, se ha reportado en híbridos de maíz una reducción promedio de 7 a 66.12% en la F₂ en el rendimiento de grano con respecto a F₁ (Martínez *et al.*, 2006; Gaytán-Bautista *et al.*, 2009; Espinosa-Calderón *et al.*, 2012). En híbridos de sorgo, Peña *et al.* (2004) reporta, una reducción promedio de casi 50% en la F₂ en el rendimiento de grano con respecto a F₁.

El objetivo de este estudio fue evaluar el rendimiento de grano de híbridos de sorgo de la generación F₂ respecto a la F₁, y la relación beneficio costo (B/C).

Material y métodos

El material genético que se utilizó en cada experimento fueron 14 híbridos comerciales y 20 híbridos experimentales generados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el Campo Experimental Valle de Culiacán (CEVACU). Durante el ciclo otoño invierno 2009- 2010, en campo bajo condiciones de riego se generó 20 híbridos experimentales producto de los cruzamientos entre 13 machos (líneas restauradoras de la fertilidad) y nueve hembras (líneas androestériles) (Cuadro 1).

This practice has implications for the production and income of producers, since there is a reduction in the productive capacity of hybrids, due mainly to the effect of the loss of heterosis. This reduction depends on several factors, including the type and genetic constitution of the hybrid and the level of inbreeding of the lines (Espinosa-Calderón *et al.*, 1998). Palacios-Velarde *et al.* (2001) reported that the use of open-pollinated varieties of sorghum generally have lower yield potential than hybrids, consider having the advantage that the seed is easier to produce is cheaper and farmers can preserve and produce their own seed and this is a significant cost reduction.

In several studies it has been reported in maize hybrids an average reduction of 7 to 66.12% in F₂ in grain yield with respect to F₁ (Martínez *et al.*, 2006; Gaytán-Bautista *et al.*, 2009; Espinosa-Calderón *et al.*, 2012). In sorghum hybrids, Peña *et al.* (2004) reported an average reduction of nearly 50% in F₂ in grain yield with respect to F₁.

The aim of this study was to evaluate the performance of grain sorghum hybrids F₂ generation regarding the F₁, and the benefit -cost (B/C).

Materials and methods

The genetic material was used in each experiment were 14 commercial hybrids and 20 experimental hybrids produced by the National Research Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP) in the Culiacan Valley Experimental Field (CEVACU). During the autumn-winter cycle 2009-2010, on field under irrigated conditions was generated 20 experimental hybrids product of crosses between 13 males (fertility restorer lines) and nine females (male sterile lines) (Table 1).

To obtain the experimental hybrid seeds F₁ individual lots were established male sterile lines and restorers, with different planting dates to achieve the same flowering period between the lines, hand pollinations were performed covering the panicles of male sterile line with bags role in the harvest collectors of all material in his genealogy for a period of 20 days according to physiological maturity, the seed of each genotype was dried to 12% moisture and stored in paper bags at room temperature (10 °C) until use (Figure 1).

Cuadro 1. Relación de las líneas progenitoras y variables evaluadas, durante el ciclo otoño invierno 2009-2010.
Table 1. Relationship of parental lines and variables evaluated during the autumn-winter cycle from 2009 to 2010.

Líneas progenitoras	Días a floración	Altura de planta (cm)	Longitud de panoja (cm)	Excursión de la panoja (cm)	Color de grano
Androestériles (A)					
3 A	74 _B	150 _C	26 _{DE}	10 _D	Crema
4 A	74 _B	160 _A	28 _{BC}	5 _E	Crema
6 A	72 _C	123 _G	28 _{BC}	3 _F	Rojo
7 A	72 _C	140 _D	29 _B	5 _E	Crema
8 A	72 _C	160 _A	29 _B	15 _B	Crema
14 A	72 _C	150 _C	27 _{CD}	20 _A	Crema
16 A	72 _C	152 _B	32 _A	12 _C	Crema
19 A	72 _C	130 _F	26 _{DE}	10 _D	Rojo
23 A	82 _A	132 _E	25 _E	6 _E	Crema
DMS _{0.05}	1.61	1.71	1.71	1.71	
Restauradoras (R)					
3 R	72 _C	102 _H	31 _A	7 _{FG}	Crema
10 R	77 _B	120 _D	30 _A	6 _G	Rojo
13 R	70 _D	104 _G	24 _C	6 _G	Rojo
19 R	69 _D	118 _E	20 _F	12 _B	Rojo
22 R	63 _F	95 _J	26 _B	8 _{EF}	Crema
34 R	80 _A	100 _I	23 _{CD}	10 _{CD}	Rojo
39 R	67 _E	145 _A	22 _{DE}	11 _{BC}	Rojo
40 R	72 _C	120 _D	26 _B	18 _A	Rojo
41 R	77 _B	110 _F	27 _B	8 _{EF}	Rojo
44 R	67 _E	120 _D	30 _A	10 _{CD}	Rojo
55 R	77 _B	135 _B	26 _B	9 _{DE}	Crema
57 R	77 _B	124 _C	24 _C	12 _B	Crema
60 R	67 _E	120 _D	21 _{EF}	9 _{DE}	Crema
DMS _{0.05}	1.67	1.67	1.67	1.67	

Medias con letras iguales son estadísticamente iguales.

Para obtener la semilla de los híbridos experimentales F₁ se establecieron lotes individuales de las líneas androesteriles y restauradores, con diferentes fechas de siembra para lograr el mismo periodo de floración entre las líneas, se realizaron polinizaciones manuales cubriendo las panojas de la línea androesteril con bolsas de papel, en la cosecha se colecto cada material según su genealogía durante un periodo de 20 días según su madurez fisiológica, la semilla de cada genotipo fue secada a 12% de humedad y almacenada en bolsas de papel en cuarto frío (10 °C) hasta su uso (Figura 1).

En el ciclo primavera verano 2010- 2010, en campo bajo condiciones de temporal, en el CEVACU del INIFAP, se sembró semilla de la generación F₁ de los 14 híbridos comerciales y de los 20 híbridos experimentales generados por el CEVACU del INIFAP, para obtener de cada híbrido la generación F₂.



Figura 1. Emasculación y polinizaciones manuales entre líneas androesteriles y restauradores.
Figure 1. Emasculation and hand pollinations between male sterile lines and restorers.

In the spring-summer cycle 2010-2010, on field under rainfed conditions in INIFAP, CEVACU, seeded F₁ generation seed of 14 commercial hybrids and 20 experimental hybrids generated by INIFAP, CEVACU to obtain each F₂ generation hybrid.

El estudio se realizó durante los ciclos otoño invierno 2010, 2011 y 2011, 2012, en campo bajo condiciones de riego en el CEVACU del INIFAP. Culiacán, Sinaloa, México; localidad ubicada a 24° 47' de latitud norte y 107° 23' de longitud oeste el clima en la región semicálido subhúmedo. El suelo es arcilloso pH 7.6 contenido bajo de N, medio P y alto de K. Se fertilizaron ambos experimentos con la fórmula 150N-00P-00K, en ambos casos, la mitad del N₂ se aplicó durante la siembra y el resto 30 días después. Para el control de maleza y plagas se aplicaron productos químicos. Para la maleza se aplicó Glifosato y Paraquat en dosis de 1 L ha⁻¹; para plagas del follaje, se aplicó Dimetoato, Permetrina en dosis de 1 L ha⁻¹ y para plagas de panoja, se aplicó Malatión en dosis de 1 L ha⁻¹.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar en cada experimento con tres repeticiones. La unidad experimental fue un surco de 5 m de largo y 0.80 m de separación, con 23 semillas del genotipo respectivo (80% de germinación), para obtener una población de 230 mil plantas por hectárea. Se analizaron las variables de rendimiento de grano, días a la floración, longitud de panoja, excursión y altura de planta.

El manejo del cultivo se realizó de acuerdo a las recomendaciones para el cultivo de sorgo en centro de Sinaloa (Moreno y Hernández-Espinal, 2011). Se realizó la comparación de medias (DMS $p=0.05$) para la diferenciación estadística de los genotipos. Para determinar las ganancias netas al sembrar semilla de los híbridos de sorgo de las generaciones F₁ y F₂ y la relación beneficio costo, se realizó un análisis económico con base al rendimiento de grano, considerando los costos locales del año 2012. Éste análisis sólo presenta los resultados relativos a B/C.

Resultados y discusión

El análisis de varianza combinado reveló diferencias significativas entre híbridos, generaciones F₁ y F₂ y para la interacción genotipos por generaciones F₁ y F₂. El coeficiente de variación para rendimiento de grano en F₁ fue 11.13 %, con una media de 5 602 kg ha⁻¹. En todos los híbridos de sorgo se presentó una reducción de rendimiento al sembrar semilla de la generación avanzada o F₂, con respecto a la semilla híbrida F₁, teniendo una reducción promedio de 50.79% y la mayor de 76.13% (Cuadro 2). Las reducciones en F₂ que se presentaron en el estudio es similar por lo reportado por Peña *et al.* (2004) teniendo una reducción promedio de casi 50% y la mayor de 79.6% en la F₂ en el rendimiento de grano de

The study was conducted during winter 2010 cycles, 2011, 2011, 2012, in the field under irrigated conditions in INIFAP, CEVACU. Culiacán, Sinaloa, Mexico; located at 24° 47' north latitude and 107° 23' west longitude in the region climate semi-warm humid. The soil is clay pH 7.6 low in N, P and height through K. Both experiments were fertilized formula 150N-00P-00K in both cases half the N₂ was applied during sowing and 30 days later. To control weeds and pests we applied chemicals. For the weed, Glyphosate and Paraquat was applied in doses of 1 L ha⁻¹, for pests of foliage, Dimethoate was applied, Permethrin in doses of 1 L ha⁻¹ and panicle pests, Malathion was applied in doses of 1 L ha⁻¹.

The design was a randomized complete block in each experiment with three replications. The experimental unit was a row of 5 m long and 0.80 m apart with 23 seeds of the respective genotype (80% germination) to obtain a population of 230 000 plants per hectare. Variables were analyzed for grain yield, days to flowering, panicle length, exertion and plant height.

Crop management was performed according to the recommendations for sorghum in central Sinaloa (Moreno and Hernández-Espinal, 2011). The comparison of means (LSD $p=0.05$) for statistical differentiation of genotypes. To determine the net proceeds to sow seeds of sorghum hybrids F₁ and F₂ generations and the benefit-cost economic analysis was performed based on the grain yield, considering local costs in 2012. This analysis only presents the results for B/C.

Results and discussion

The combined analysis of variance revealed significant differences between hybrid F₁ and F₂ generations and interaction genotypes by F₁ and F₂ generations. The coefficient of variation for grain yield in F₁ was 11.13% with a mean of 5 602 kg ha⁻¹. In all sorghum hybrids showed a yield reduction in sowing seeds of advanced generation or F₂ over F₁ hybrid seed, with an average reduction of 50.79% and 76.13% higher (Table 2). Reductions in F₂ that were presented in the study is similar as reported by Peña *et al.* (2004) having an average reduction of nearly 50% and 79.6% higher in the F₂ in sorghum grain yield with respect to F₁. In pearl millet, identify Sheoran *et al.* (2000) inbreeding depression in grain yield in F₂ with respect to F₁, with a greater reduction of 38.91%.

sorgo con respecto a F_1 . En perla mijo, identifico Sheoran *et al.* (2000) depresión endogámica en el rendimiento de grano en F_2 con respecto a F_1 , con una reducción mayor de 38.91%.

Agarwal and Shrotria (2005) found in sorghum hybrids inbreeding depression in forage yield and dry in F_2 with respect to F_1 a reduction of 23.91% to 47.19% and 37% to 59.38%

Cuadro 2. Relación de híbridos de sorgo evaluados en rendimiento de grano (kg ha^{-1}) de las generaciones F_1 y F_2 durante los ciclos Otoño-Invierno 2010-2011 y 2011-2012.

Table 2. Relationship of sorghum hybrids evaluated in yield (kg ha^{-1}) of F_1 and F_2 generations during cycles autumn-winter 2010-2011 and 2011-2012.

Híbrido	Generaciones		Reducción	
	F_1	F_2	kg ha^{-1}	%
SHS-23X41	7109 _A	2153 _{JKL}	-4956	-69.71
SHS-16X41	6489 _{ABC}	2072 _{KL}	-4417	-68.06
SHS-23X60	6484 _{ABC}	2222 _{JKL}	-4262	-65.73
SHS-7X60	6390 _{ABCD}	2102 _{KL}	-4288	-67.10
SHS-3X41	6250 _{ABCDE}	4940 _A	-1310	-20.96
SHS-6X39	6125 _{ABCDEF}	3522 _{BCDE}	-2603	-42.49
SHS-3X34	6093 _{ABCDEF}	2483 _{HIJK}	-3610	-59.24
SHS-8X57	5671 _{CDEFGHI}	2431 _{HIJK}	-3240	-57.13
SHS-8X60	5520 _{CDEFGHI}	3376 _{CDEF}	-2144	-38.84
SHS-8X22	5426 _{DEFGHIJ}	2020 _{KL}	-3406	-62.77
SHS-8X10	5316 _{EFGHIJ}	4185 _{AB}	-1131	-21.27
SHS-4X41	5291 _{EFGHIJ}	2271 _{HIJKL}	-3020	-57.07
SHS-7X19	5281 _{EFGHIJ}	3730 _{BCD}	-1551	-29.36
SHS-14X44	5281 _{EFGHIJ}	2517 _{GHIJK}	-2764	-52.33
SHS-8X55	5265 _{EFGHIJ}	2237 _{IJKL}	-3028	-57.51
SHS-16X57	5156 _{FGHIJ}	3706 _{BCD}	-1450	-28.12
SHS-14X40	5125 _{FGHIJ}	2297 _{HIJKL}	-2828	-55.18
SHS-7X3	5093 _{GHIJ}	1929 _{KLM}	-3164	-62.12
SHS-19X44	5041 _{HIJK}	1203 _M	-3838	-76.13
SHS-3X13	5015 _{HIJK}	3009 _{DEFGH}	-2006	-40
G STAR 7304*	6813 _{AB}	2107 _{KL}	-4706	-69.07
AVANTE PINO*	6272 _{ABCDE}	3674 _{BCDE}	-2598	-41.42
G STAR 7402*	6179 _{ABCDE}	3890 _{BC}	-2283	-36.94
G STAR 7205*	5938 _{BCDEFGH}	2590 _{GHIJK}	-3348	-56.38
PIONEER 85G47*	5937 _{BCDEFGH}	2000 _{KL}	-3937	-66.31
SYNGENTA 5265*	5760 _{CDEFGH}	2699 _{FHIJK}	-3061	-53.14
AVANTE NOGAL*	5582 _{CDEFGHI}	4291 _{AB}	-1291	-23.12
SYNGENTA 5515*	5527 _{CDEFGHI}	2982 _{DEFGHI}	-2545	-46.04
AVANTE MEZQUITE*	5447 _{DEFGHI}	3277 _{CDEFG}	-2170	-39.83
PIONEER 8641*	5353 _{EFGHIJ}	2917 _{EFGHIJ}	-2436	-45.50
AVANTE CIPRES*	5088 _{GHIJ}	2422 _{HIJK}	-2666	-52.39
PIONEER 86P42*	4687 _{IJK}	1633 _{LM}	-3054	-65.15
KILATE*	4427 _{KJ}	2648 _{FHIJK}	-1779	-40.18
G STAR 7601*	4069 _K	1612 _{LM}	-2457	-60.38
Promedio	5602	2739	-2863	-50.79
CV (%)	11.13	17.25		
DMS _{0.05}	1016.9	770.52		

*= Testigos comerciales; DMS $p \leq 0.05$ para generación $F_1 = 1016.9$ C. V. = 11.13; y DMS $p \leq 0.05$ para generación $F_2 = 770.52$ C. V. = 17.25. Medias con letras iguales son estadísticamente iguales.

Agarwal y Shrotria (2005) determinaron en híbridos de sorgo depresión por endogamia en el rendimiento de forraje verde y seco en F_2 con respecto a F_1 , una reducción de 23.91% a 47.19%; y 37% a 59.38% respectivamente, Bhatt, (2008) identificó una reducción 4.23 a 23.53% y 6.19 a 26.22%, respectivamente. En híbridos de maíz, se ha reportado en otros estudios reducción máxima 66.12% en el rendimiento de

respectively, Bhatt, (2008) identified reduced to 4.23 and 6.19 to 23.53% 26.22% respectively. In maize hybrids has been reported in other studies 66.12% maximum reduction in grain yield in F_2 with respect to F_1 (Ramírez *et al.*, 1986; Valdivia and Vidal, 1995; De Leon *et al.*, 1998; Espinosa-Calderón *et al.*, 1998; Coutinho *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2006; Gaytán-Bautista *et al.*, 2009; Espinosa-Calderón *et al.*, 2012).

grano en F₂ con respecto a F₁ (Ramírez *et al.*, 1986; Valdivia y Vidal, 1995; De León *et al.*, 1998; Espinosa-Calderón *et al.*, 1998; Coutiño *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2006; Gaytán-Bautista *et al.*, 2009; Espinosa-Calderón *et al.*, 2012).

Los híbridos con rendimiento de grano estadísticamente significativos fueron el híbrido experimental SHS-23 x 43 y el híbrido comercial G STAR 7 304, con 7 109 y 6 813 kg ha⁻¹ en la F₁ respectivamente, aunque en la F₂ rindieron menos 69.71 y 36.94% respecto a F₁, respectivamente. El rendimiento promedio de los 20 híbridos experimentales fue mayor en 3% con respecto a los 14 híbridos comerciales al tener 5 671 y 5 505 kg ha⁻¹ respectivamente, sin embargo en la generación avanzada o F₂ los 14 híbridos comerciales tuvieron una reducción menor en el rendimiento de grano de 1.86% con respecto a los 20 híbridos experimentales al tener 49.70 y 51.56% de reducción, respectivamente. El contenido genético del material, es un factor importante en la disminución de rendimiento que se presenta al usar semilla de generación avanzada o F₂ (Espinosa-Calderón *et al.*, 1998).

El efecto generacional se expreso en las características fenotípicas difiriendo entre las dos generaciones (Figura 2 y 3). Los días a floración en la F₂, se presentaron de manera des uniforme dentro de cada material, en promedio aumentaron, floreciendo de 5 a 10 días después que en F₁. En altura, los materiales se expresaron des uniformes y menor altura en promedio de 80 a 170 cm y con menor vigor. Asimismo, en la longitud de panoja fue menor y des uniformé para todos los materiales, con expresiones promedio de 8 a 32 cm (Cuadro 3). La endogámica tuvo mayor efecto en el rendimiento de grano, teniendo una reducción hasta 76.13%. Similar a lo reportado por Peña *et al.* (2001, 2004) identificaron en las características fenotípicas una depresión endogámica, perdiendo su uniformidad en la F₂.



Figura 2. Fenotipo de las plantas de la generación F₁ de los híbridos experimentales y comerciales de sorgo.
Figure 2. Phenotype of the plants of the F₁ hybrids experimental and commercial sorghum.

Hybrids with grain yield were statistically significant experimental hybrid SHS- 23 x 43 and the commercial hybrid G STAR 7304, with 7 109 and 6813 kg ha⁻¹ in F₁ respectively, although in the F₂ yielded less 69.71 and 36.94% with respect to F₁, respectively. The average yield of the 20 experimental hybrids was higher in 3% over the 14 commercial hybrids to be 5 671 and 5 505 kg ha⁻¹ respectively, but in the advanced generation or F₂; 14 commercial hybrids had a smaller reduction in grain yield of 1.86% over the 20 experimental hybrids to be 49.70 and 51.56% reduction, respectively. The genetic content of the material is an important factor in the performance decline that occurs when using advanced generation seed or F₂ (Espinosa-Calderón *et al.*, 1998).

The generational effect was expressed in the phenotypic characteristics differing between the two generations (Figure 2 and 3). Days to flowering in F₂, so showed uniform within each material, on average increased, blooming of 5 to 10 days later than in F₁. In height, the material is expressed des uniform and lower on average from 80 to 170 cm and less vigor. Also, the length of panicle was lower and des uniform for all materials, with average expressions 8-32 cm (Table 3). The inbred had the greatest effect on grain yield, taking up 76.13% reduction. Similar to that reported by Peña *et al.* (2001, 2004) identified in the phenotypic characteristics inbreeding depression, losing its uniformity in F₂.



Figura 3. Fenotipo de las plantas de la generación F₂ de los híbridos experimentales y comerciales de sorgo.
Figure 3. Phenotype of F₂ generation plants of the experimental and commercial hybrid sorghum.

The analysis of the interaction hybrid x generation x environment under the conditions of the region showed significant differences with the experimental hybrid SHS-23 x 43 and the commercial hybrid G STAR 7304, with grain yield 7 109 and 6 813 kg ha⁻¹ in F₁ respectively.

Cuadro 3. Variables evaluadas en híbridos de la F₁ durante los ciclos otoño-invierno 2010-2011 y 2011-2012.
Table 3. Variables evaluated in the F₁ hybrid cycles during autumn-winter 2010-2011 and 2011-2012.

Híbrido	Días a Floración	Altura de Planta (cm)	Longitud de Panoja (cm)	Excursión de la Panoja (cm)	Color de grano
SHS-23X41	77 _A	155 _J	26 _{BCDE}	24 _{CDE}	Crema
SHS-16X41	74 _B	160 _I	26 _{BCDE}	23 _{DEF}	Rojo
SHS-23X60	71 _{DC}	150 _K	25 _{CDEF}	6 _O	Crema
SHS-7X60	67 _{GH}	145 _L	27 _{ABCD}	18 _{IJ}	Crema
SHS-3X41	75 _B	160 _I	28 _{ABC}	26 _{BC}	Rojo
SHS-6X39	71 _{DC}	167 _{EF}	27 _{ABCD}	23 _{DEF}	Rojo
SHS-3X34	74 _B	165 _{FGH}	25 _{CDEF}	26 _{BC}	Rojo
SHS-8X57	68 _{FG}	173 _{CD}	26 _{BCDE}	22 _{EFG}	Crema
SHS-8X60	68 _{FG}	175 _C	25 _{CDEF}	25 _{BCD}	Crema
SHS-8X22	67 _{GH}	166 _{FG}	30 _A	16 _{JK}	Crema
SHS-8X10	69 _{EF}	170 _{DE}	25 _{CDEF}	23 _{DEF}	Rojo
SHS-4X41	74 _B	162 _{HI}	26 _{BCDE}	18 _{IJ}	Rojo
SHS-7X19	67 _{GH}	143 _{LM}	30 _A	16 _{JK}	Crema
SHS-14X44	71 _{DC}	196 _A	29 _{AB}	32 _A	Rojo
SHS-8X55	71 _{DC}	187 _B	28 _{ABC}	21 _{FGH}	Crema
SHS-16X57	72 _C	161 _I	29 _{AB}	14 _{KLM}	Crema
SHS-14X40	69 _{EF}	167 _{EF}	27 _{ABCD}	26 _{BC}	Rojo
SHS-7X3	69 _{EF}	155 _J	29 _{AB}	19 _{HI}	Crema
SHS-19X44	68 _{FG}	170 _{DE}	27 _{ABCD}	26 _{BC}	Rojo
SHS-3X13	70 _{DE}	140 _{MN}	29 _{AB}	14 _{KLM}	Rojo
PIONEER 85G47*	69 _{EF}	154 _J	22 _F	23 _{DEF}	Rojo
PIONEER 8641*	68 _{FG}	163 _{HGI}	22 _F	25 _{BCD}	Rojo
PIONEER 86P42*	66 _{HI}	144 _L	24 _{DEF}	20 _{GHI}	Rojo
KILATE*	63 _{KL}	153 _{JK}	24 _{DEF}	13 _{LM}	Rojo
AVANTE NOGAL*	62 _L	135 _{OP}	23 _{EF}	25 _{BCD}	Rojo
AVANTE MEZQUITE*	68 _{FG}	137 _{NO}	25 _{CDEF}	24 _{CDE}	Rojo
AVANTE PINO*	63 _{KL}	132 _P	24 _{DEF}	12 _M	Rojo
AVANTE CIPRES*	66 _{HI}	126 _Q	27 _{ABCD}	14 _{KLM}	Rojo
SYNGENTA 5515*	63 _{KL}	112 _R	30 _A	9 _N	Rojo
SYNGENTA 5265*	63 _{KL}	137 _{NO}	23 _{EF}	14 _{KLM}	Rojo
G STAR 7205*	65 _{IJ}	140 _{MN}	22 _F	15 _{KL}	Rojo
G STAR 7402*	64 _{JK}	144 _L	28 _{ABC}	13 _{LM}	Rojo
G STAR 7601*	66 _{HI}	125 _Q	26 _{BCDE}	16 _{JK}	Rojo
G STAR 7304*	66 _{HI}	140 _{MN}	24 _{DEF}	27 _B	Rojo
dMS _{0.05}	1.62	3.34	3.25	2.28	

*= Testigos comerciales. Medias con letras iguales son estadísticamente iguales.

El análisis de la interacción ambiente x híbrido x generación bajo las condiciones de la región mostro diferencias significativas con el híbrido experimental SHS-23 x 43 y el híbrido comercial G STAR 7304, con rendimientos de grano de 7 109 y 6 813 kg ha⁻¹ en la F₁ respectivamente.

Análisis económico de la producción de grano

En el análisis económico con base al rendimiento de grano de las generaciones F₁ y F₂, resultó que la mejor opción para los productores de grano de sorgo de Sinaloa, es sembrar F₁ al ser positivo la relación B/C en todos los híbridos de sorgo en comparación a la generación F₂. La relación B/C promedio de la generación F₂ fue menor con 45.61% con respecto a F₁ (Cuadro 4).

La relación beneficio costo de los 20 híbridos experimentales y 14 híbridos comerciales fue positiva con 1.78 y 1.73 respectivamente; sin embargo, en la generación avanzada o F₂ resulto negativa en ambos casos con 0.95 y 0.96 respectivamente.

El híbrido experimental SHS-23 x 41 y comercial G STAR 7304 resultaron obtener el mayor B/C de 2.23 y 2.14 respectivamente, con semilla de la generación F₁; sin embargo, en la F₂ obtienen la relación B/C negativa de 0.75 y 0.73, con una reducción de 66.31 y 65.6% respectivamente, con respecto a F₁.

El híbrido experimental SHS-3 x 41 es una alternativa para el productor al ser el más rentable al sembrar la generación F₂, la relación B/C de 1.73 y con la menor reducción 12.08%, con respecto a F₁, con rendimientos promedio en F₁ 6 250 y en F₂ 4 940 kg ha⁻¹, teniendo estabilidad en ambos ambientes estudiados y por la baja depresión endogámica.

De acuerdo con los análisis obtenidos, en la generación avanzada o F₂, los resultados indican que en más de 90% de los híbridos de sorgo no es rentable la siembra de sorgo para la producción de grano considerando los rendimientos, costos y precios del grano, siendo similar con Espinosa-Calderón *et al.* (1998); Coutiño *et al.* (2004); Martínez *et al.* (2006); Gaytán-Bautista *et al.* (2009) quienes mencionan el efecto de endogamia en la reducción de la producción de grano en maíz híbrido y en las ganancias netas. El precio de la semilla híbrida de sorgo es de alto costo en comparación a la de generación avanzadas o F₂ (del canasto). La diferencia del costo de la semilla híbrida certificada se destina a otros insumos (fertilizantes, herbicidas, labores) en agroecosistemas de muy bajo rendimiento (Pixley y Banziger, 2001).

Economic analysis of the production of grain

In the economic analysis based on the grain yield of F₁ and F₂ generations was that the best choice for grain sorghum producers of Sinaloa, is to plant positive F₁ when the B/C in all sorghum hybrids compared to the F₂ generation. The B/C average F₂ generation was lower with 45.61% with respect to F₁ (Table 4).

Cuadro 4. Comparación de la relación beneficio/costo de las generaciones F₁ y F₂ del rendimiento de grano (kg ha⁻¹) de 20 híbridos experimentales y 14 comerciales de sorgo en Sinaloa, México.

Table 4. Comparison of the benefit/cost of F₁ and F₂ generations of grain yield (kg ha⁻¹) of 20 experimental and 14 commercial hybrid sorghum in Sinaloa, Mexico.

Híbrido	Relación beneficio costo		
	Generaciones F ₁	F ₂	Reducción %
SHS-23x41	2.23	0.75	-66.31
SHS-16x41	2.04	0.72	-64.48
SHS-23x60	2.04	0.77	-61.88
SHS-7x60	2.01	0.73	-63.41
SHS-3x41	1.96	1.73	-12.08
SHS-6x39	1.92	1.23	-36.04
SHS-3x34	1.91	0.86	-54.67
SHS-8x57	1.78	0.85	-52.32
SHS-8x60	1.73	1.18	-31.97
SHS-8x22	1.70	0.70	-58.59
SHS-8x10	1.67	1.46	-12.43
SHS-4x41	1.66	0.79	-52.25
SHS-7x19	1.66	1.30	-21.44
SHS-14x44	1.66	0.88	-46.98
SHS-8x55	1.65	0.78	-52.74
SHS-16x57	1.62	1.29	-20.05
SHS-14x40	1.61	0.80	-50.14
SHS-7x3	1.60	0.67	-57.87
SHS-19x44	1.58	0.42	-73.45
SHS-3x13	1.57	1.05	-33.26
G STAR 7304*	2.14	0.73	-65.60
AVANTE PINO*	1.97	1.28	-34.84
G STAR 7402*	1.94	1.36	-29.86
G STAR 7205*	1.86	0.90	-51.48
PIONEER 85G47*	1.86	0.70	-62.53
SYNGENTA 5265*	1.81	0.94	-47.88
AVANTE NOGAL*	1.75	1.50	-14.49
SYNGENTA 5515*	1.74	1.04	-39.99
AVANTE MEZQUITE*	1.71	1.14	-33.08
PIONEER 8641*	1.68	1.02	-39.39
AVANTE CIPRES*	1.60	0.84	-47.05
PIONEER 86P42*	1.47	0.57	-61.24
KILATE*	1.39	0.92	-33.47
G STAR 7601*	1.28	0.56	-55.93
PROMEDIO*	1.76	0.95	-45.61

*= Testigos comerciales.

En otro trabajo, Espinosa-Calderón *et al.* (1998) reporta, que el precio de la semilla juega un papel fundamental en la decisión por los productores de usar semilla comercial o de generaciones avanzadas de un híbrido, y éste precio está influenciado principalmente por los costos de producción de la semilla. Los materiales que pueden ser producidos a bajo costo son importantes para mantener precios de semilla aceptables, con lo cual se puede incrementar el uso de semilla comercial y al mismo tiempo reducir el uso de generaciones avanzadas de semilla híbrida.

Por lo tanto, en temporal o secano, se debe promover la producción de variedades e híbridos de sorgo nacionales de bajo costo y con rendimientos de grano aceptables, que compitan favorablemente con los transnacionales.

Conclusiones

El uso de semilla de generación avanzada o F_2 de sorgo, presentó una reducción de 20.96 a 76.13% en rendimiento de grano, con respecto a la semilla híbrida F_1 .

En promedio en los 34 híbridos, la relación beneficio costo de semilla híbrida F_1 fue de 1.76 y en generación avanzada o F_2 fue negativa de 0.95.

El híbrido experimental SHS-23 x 43 y comercial G STAR 7304 obtuvieron el mayor rendimiento de grano en ambos ambientes estudiados con 7 109 y 6 813 kg ha⁻¹ en la F_1 respectivamente.

Agradecimientos

Al apoyo financiero proporcionado por Fundación Produce Sinaloa, A. C. a través del proyecto Núm. 2055985A titulado: Formación de variedades e híbridos de sorgo para temporal y riego en el estado de Sinaloa.

Literatura citada

Agarwal, M. and Shrotria, P. K. 2005. Heterosis and inbreeding depression in forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. Indian J. Genet. 65(1):12-14.

The cost benefit ratio of the 20 experimental hybrids and 14 commercial hybrids was positive with 1.78 and 1.73 respectively, but in advanced or F_2 generation was negative in both cases with 0.95 and 0.96 respectively.

SHS-23 x 41 experimental hybrid and commercial STAR 7304 G obtained the highest B/C of 2.23 and 2.14 respectively, the F_1 seed, but F_2 obtained in the B/C ratio of 0.75 and 0.73 negative, a reduction of 66.31 and 65.6% respectively, with respect to F_1 .

The experimental hybrid SHS-3 x 41 is an alternative for the producer to be the most profitable to plant the F_2 generation, the B/C of 1.73 and the lowest 12.08% reduction with respect to F_1 , with average yields in F_1 F_2 6 250 and 4 940 kg ha⁻¹, with stability in both environments studied and the low inbreeding depression.

According to the analysis obtained in the advanced generation or F_2 , the results indicate that more than 90% of hybrid sorghum planting unprofitable sorghum for grain production based on returns, costs and grain prices, being similar to Espinosa-Calderón *et al.* (1998), Coutinho *et al.* (2004), Martínez *et al.* (2006), Gaytán-Bautista *et al.* (2009) who mention the effect of inbreeding in reducing the production of hybrid maize grain and net earnings. The price of hybrid sorghum seed is expensive compared to the advanced generation or F_2 (from the basket). The difference in the cost of certified hybrid seed is used for other inputs (fertilizers, herbicides, work) in agroecosystems in very low yield (Pixley and Banziger, 2001).

Espinosa-Calderón *et al.* (1998) reported that, the price of the seed plays a key role in the decision to use the commercial seed producers or advanced generations of a hybrid, and this price is influenced mainly by the costs of seed production. The materials that can be produced at low cost are important to maintain acceptable prices seed, which can increase the use of commercial seed while reducing the use of hybrid seeds advanced generations.

Therefore, in rainfed, should promote the production of sorghum varieties and hybrids national low cost and acceptable grain yields, which compete favorably with the transnational.

- Bhatt, A. 2008. Studies on heterosis and inbreeding depression in forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Agric. Sci. Digest*. 28(4):258-266.
- Coutiño, E. B.; Sánchez, G. G. y Vidal, M. V. A. 2004. El uso de semilla F₂ de híbridos de maíz en la Frailesca, Chiapas, reduce el rendimiento y las ganancias netas. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(3):261-266.
- De León, H. J.; Jaramillo, A.; Martínez, G. A. y Rodríguez, S. 1998. Híbridos dobles de maíz de baja depresión endogámica en F₂. *Agron. Mesoam.* 9(1):38-41.
- Espinosa-Calderón A.; López-Pereira, M. A. y Tadeo-Robledo, M. 1998. Análisis agroeconómico del uso de semilla mejorada de maíz en los Valles Altos de México. *Agron. Mesoam.* 9(1):53-58.
- Espinosa-Calderón, A.; Tadeo, R. M.; Arteaga, E. I.; Turrent, F. A.; Sierra, M. M.; Gómez, M. N.; Palafox, C. A.; Valdivia, B. R.; Trejo, P. V. y Canales, I. E. 2012. Rendimiento de las generaciones f₁ y f₂ de híbridos trilineales de maíz en los Valles Altos de México. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*. 28(1):57-64.
- Gámez-González, H.; Moreno, L. S.; Zavala, G. F.; Morales, R. I. y Damián, H. M. A. 2010. El sorgo: contribuciones al conocimiento de su fisiología. Primera edición. Ed. Talleres de Jiménez Editores e Impresores, S. A. de C. V. México, D. F. UANL. 2 p.
- Gaytán-Bautista, R.; Martínez, G. M. I. y Mayek, P. N. 2009. Rendimiento de grano y forraje en híbridos de maíz y su generación avanzada F₂. *Agric. Téc. Méx.* 35(3):295-304.
- Hernández-Espinal, L. A.; Moreno, G. T.; Loaiza, M. A. y Reyes, J. J. E. 2010a. Sinaloense-202, nueva variedad de sorgo para el estado de Sinaloa. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(5):733-737.
- Hernández-Espinal, L. A.; Moreno, G. T.; Loaiza, M. A. y Reyes, J. J. E. 2010b. Gavatero-203, nueva variedad de sorgo forrajero para el estado de Sinaloa. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(5):727-731.
- Hernández-Espinal, L. A.; Moreno, G. T.; Reyes, J. J. E. y Loaiza, M. A. 2011a. Perla-101: nueva variedad de sorgo para el estado de Sinaloa. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(5):779-784.
- Hernández-Espinal, L. A.; Moreno, G. T.; Reyes, J. J. E. y Loaiza, M. A. 2011b. Costeño-201: nueva variedad de sorgo de temporal de doble propósito para Sinaloa. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(5):785-790.
- Martínez-Gómez, M. I.; Gaytán-Bautista, R.; Reyes-Muro, L.; Mayek-Pérez, N.; Padilla-Ramírez, J. S. y Luna-Flores, M. 2006. Rentabilidad de las generaciones F₁, F₂ y F₃ de híbridos de maíz. *Agrociencia*. 40(5):677-685.
- Montes-García, N.; Williams-Alanís, H.; Moreno-Gallegos, T.; Cisneros-López, M. E. y Pecina-Quintero V. 2012. Rb-paloma variedad de sorgo blanco para producción de grano y forraje. *Rev. Fitotec. Mex.* 35(2):185-187.
- Moreno, G. T. y Hernández-Espinal, L. A. 2011. Producción de semillas de sorgo de polinización libre. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional del Noroeste (CIRNO). Campo Experimental Valle de Culiacán. Culiacán, Sinaloa, México. Memoria de capacitación 1-24 p.

Conclusions

The use of advanced generation seed or sorghum F₂, showed a reduction of 20.96 to 76.13% in yield with respect to F₁ hybrid seed.

On average in the 34 hybrids, the benefit cost of F₁ hybrid seed was 1.76 and in advanced or F₂ generation was negative 0.95.

The experimental hybrid SHS- 23 x 43 and commercial G STAR 7304 had the highest grain yield in both environments studied in 7 109 and 6813 kg ha⁻¹ in F₁ respectively.

End of the English version



- Palacios, V. O.; Moreno-Gallegos T. G. y Reyes-Jiménez J. E. 2001. Costeño 201, sorgo de doble propósito para temporal en Sinaloa. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional del Noroeste (CIRNO). Campo Experimental Valle de Culiacán. Culiacán, Sinaloa, México. Folleto técnico Núm. 2. 2 p.
- Peña, R. A.; Eastin, D. J.; Kachman, D. S. and Zavala, G. F. 2001. Herencia de la duración del periodo y tasa de llenado de grano en sorgo. *Rev. Fitot. Mex.* 24(2):171-178.
- Peña, R. A.; Kachman, D. S.; Eastin, D. J. and Andrews, D. J. 2004. Herencia del rendimiento, número y tamaño del grano en sorgo. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(2):149-156.
- Pixley, K. and Bänziger, M. 2001. Open-pollinate maize varieties: a backward step or valuable option for farmers? Seventh Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference. 22-28 pp.
- Ramírez, V. P.; Balderas, M. M. and Gerón, X. F. 1986. Potencial productivo de las generaciones avanzadas de los híbridos tropicales de maíz H-503, H-507 y H-510. *Rev. Fitotec. Mex.* 8:20-34.
- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2012. Anuario estadístico de la producción agrícola 2011 en México. El cultivo de sorgo. SAGARPA. URL: <http://www.siap.gob.mx>.
- Sheoran R. K.; Govila, O. P. and Singh, B. 2000. Genetic architecture of yield and yield contributing traits in pearl millet. *Ann. Agric. Res.* 21:443-445.
- Valdivia, B. R. y Vidal, M. V. A. 1995. Efecto de generaciones avanzadas en la producción de diferentes tipos de híbridos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 18:69-76.