



Agricultura Técnica en México

ISSN: 0568-2517

contacto@agriculturarecnica.net.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Gaytán Bautista, Rodolfo; Reyes Muro, Luis; Martínez Gómez, María Isabel; Mayek Pérez, Netzahualcóyotl; Padilla Ramírez, José Saúl; Luna Flores, Maximino
Depresión del rendimiento de grano y forraje de Híbridos de maíz en generaciones avanzadas
Agricultura Técnica en México, vol. 31, núm. 2, julio-diciembre, 2005, pp. 165-175
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Texcoco, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60831205>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

DEPRESIÓN DEL RENDIMIENTO DE GRANO Y FORRAJE DE HÍBRIDOS DE MAÍZ EN GENERACIONES AVANZADAS*

SEED AND FORAGE YIELD DEPRESION OF MAIZE HYBRIDS IN ADVANCED GENERATION

Rodolfo Gaytán-Bautista¹*, Luis Reyes-Muro¹, María Isabel Martínez-Gómez², Netzahualcóyotl Mayek-Pérez³, José Saúl Padilla-Ramírez¹ y Maximino Luna-Flores⁴

¹Programa de Maíz. Campo Experimental Pabellón, INIFAP. Km 32.5 carretera Aguascalientes – Zacatecas. 20660 Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. ²Instituto Tecnológico Agropecuario de Aguascalientes No. 20-SEP. ³Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional. ⁴Unidad Académica de Agronomía, Universidad Autónoma de Zacatecas. *Autor para correspondencia: rgaytan1951@yahoo.com.mx

RESUMEN

Los productores de maíz de riego en el estado de Aguascalientes, México, utilizan semilla híbrida; sin embargo, por falta de recursos económicos usan semilla de generaciones avanzadas de los híbridos comerciales. El objetivo de la investigación fue determinar el rendimiento de grano y de forraje de 22 híbridos de maíz y sus generaciones F_2 y F_3 , e identificar los sobresalientes en rendimiento de grano o forraje en la F_1 o aquellos con rendimiento sostenido a través de sus generaciones avanzadas. En el ciclo primavera-verano de 2002 se realizó un experimento en condiciones de riego, en Rincón de Romos, Aguascalientes, México, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones; la parcela útil fue de un surco de 10 m de largo por 0.76 m de ancho en el cual se tomaron 50 plantas para medir grano y con 62 para medir forraje en cada generación F_1 , F_2 y F_3 . Se determinaron las variables: días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, así como el porcentaje de mazorcas podridas. El rendimiento medio de grano de los 22 híbridos se redujo 27% en F_2 y 24% en F_3 con respecto a la F_1 ; el rendimiento

de forraje seco se redujo 8% en F_2 y 18% en F_3 . El mayor rendimiento de grano de la generación F_1 se obtuvo con los híbridos Fuego y H-361, y el de forraje con los híbridos Tornado, Fuego, 30G40, SB-304 y A-7597. En promedio de las tres generaciones, los híbridos H-361 y SB-304 (para grano), así como AS-948, Tornado, Gilsa-120 y Fuego (para forraje) mostraron los mayores rendimientos. Con el avance generacional se redujo la altura de planta y de mazorca, y se incrementó el porcentaje de mazorcas podridas. El uso de semilla de generaciones avanzadas de los híbridos con alto rendimiento en F_2 y F_3 es una opción viable para los productores de bajos recursos económicos de Aguascalientes.

Palabras clave: *Zea mays* L., generaciones avanzadas F_2 y F_3 , maíz de riego, rendimiento de materia seca.

ABSTRACT

In Aguascalientes, Mexico, most corn producers under irrigated conditions use hybrid seed. However, the scarcity of economic resources have originated the use of advanced generations of those commercial

* Fecha de recepción: 7 de octubre de 2004
Fecha de aceptación: 6 de septiembre de 2005

hybrids. The objective of this work was to evaluate the forage and grain yield of 22 corn hybrids and its F_2 and F_3 generations and to identify these outstanding in forage or grain yield, and these of performance stable across generations. A field experiment was conducted under irrigation during 2002 at Rincon de Romos, Aguascalientes, Mexico. The experimental design was a random complete block with three replications and the experimental unit consisted of one row 10 m in length and 0.76 m wide. Plant sampled in all treatments were 50 per experimental unit for grain production and 62 for forage production. Other data taken included: days to male and female flowering, plant and ear height and percentage of rotten ears. Average of the 22 hybrids grain yield was 27% and 24% lower in the F_2 and F_3 , with respect to the F_1 . Dry matter yield decreased 8% in the F_2 and 18% in the F_3 . The highest grain yield among the F_1 hybrids was obtained by Fuego and H-361 and for forage with the hybrids Tornado, Fuego, 30G40, SB-304 and A-7597. Average from all generations the hybrids H-361 and, SB-304 (for yield) and AS-948, Tornado, Gilsa-120 and Fuego (for forage) showed the highest yield. Due to the generational advance, plant and ear height decreased, while the percentage of rotten ears increased. The utilization of seed from advanced generations of corn hybrids showing high yields in the F_2 and F_3 , seems to be a valid option for farmers of low economic resources in Aguascalientes.

Key words: *Zea mays* L., advanced generations F_2 and F_3 , dry matter yield, maize under irrigation.

INTRODUCCIÓN

En el estado de Aguascalientes, México, en 2003 se sembraron 18 200 ha de maíz de riego, de las cuales 71% fue para producir forraje y 29% para grano; el rendimiento medio de forraje verde fue de 52.1 t ha⁻¹ y el de grano de 5.1 t ha⁻¹ (SIEA, 2004). Los productores de maíz han adoptado el uso de semilla híbrida debido a su rentabilidad (Lowenberg-De Boer, 2004), sin embargo, el alto costo de la semilla híbrida aunado al hecho de que algunos híbridos reducen

poco su rendimiento al pasar de la F_1 a generaciones siguientes ha ocasionado que la mayoría de los productores siembren generaciones avanzadas de los híbridos (Ramírez-Vallejo *et al.*, 1986; Valdivia-Bernal y Vidal-Martínez, 1995; Martínez, 2004). Una generación avanzada de un híbrido se obtiene mediante la conservación de semilla remanente F_2 de la cosecha anterior para sembrar el ciclo siguiente (Valdivia-Bernal y Vidal-Martínez, 1995).

Los híbridos de maíz que se utilizan comúnmente en Aguascalientes provienen de compañías norteamericanas, derivados de progenitores posiblemente inadaptados a las condiciones ecológicas de la entidad; por tal motivo, es importante evaluar esos híbridos, tanto para la producción de grano como para forraje, considerando también sus generaciones avanzadas, es decir, su respuesta en la F_1 y en generaciones posteriores. Así mismo, se han observado efectos distintos en el rendimiento de grano y en otras características fenológicas y fenotípicas del maíz, por el avance generacional del híbrido original. Al respecto, Ramírez-Vallejo *et al.* (1986) observaron reducciones de 12 a 18% en rendimiento de grano de F_2 y F_3 respecto a la F_1 ; mientras que Peña *et al.* (1989) reportaron una reducción de 11% en rendimiento en el H-204 en Aguascalientes, además, Peña y Arellano (1990) observaron reducciones de 9.5% en promedio con el H-131 en los Valles de Puebla y de México, al comparar en ambos casos el híbrido con respecto a su F_2 . Por su parte, Ortiz y Espinosa (1990) observaron una reducción de 35% en el rendimiento de grano en el H-149E, al pasar de F_1 a F_2 en El Bajío y en la región de Valles Altos de México, mientras que González *et al.* (1993) reportaron reducciones en rendimiento de 16 y 14% al pasar de F_2 a F_3 en cinco híbridos cultivados en la región central de Jalisco. Valdivia-Bernal y Vidal-Martínez (1995) observaron 45% de reducción al pasar de F_1 a F_2 y 32% al pasar a la F_3 ; estos autores también reportaron que el ciclo biológico del cultivo se prolongó, hubo mayor porcentaje de plantas acamadas y de pudrición de mazorca, así como reducción en la altura de planta y en la prolificidad en las generaciones avanzadas.

Otros autores en Brasil señalaron una reducción media de 49% en rendimiento de grano, en 28 variedades de maíz, al pasar de S_0 a S_1 ; la mayor depresión endogámica la observaron en las variedades con base genética más amplia, mismas que nunca se habían sometido a endogamia (Patto-Pacheco *et al.*, 2002). En el sureste mexicano Coutiño-Estrada *et al.* (2004) observaron una reducción media de 22.6% en rendimiento de grano en 14 híbridos de maíz cultivados en la Fraylesca, Chiapas. No obstante lo anterior, Pixley y Bänziger (2001) demostraron que, a pesar de que el avance generacional de F_1 a F_2 redujo en 32% el rendimiento de grano en híbridos y 5% en variedades de polinización libre, el uso de semilla remanente para avanzar generacionalmente al híbrido o a la variedad de polinización libre permite destinar el costo de la semilla a otras necesidades (fertilizantes, herbicidas, labores de cultivo adicionales) e incrementar el rendimiento particularmente en agroecosistemas donde éste es muy bajo (menor de 2 t ha⁻¹). En resumen, se ha determinado consistentemente el efecto del avance generacional de híbridos de maíz en cuanto al rendimiento de grano, pero no se ha determinado el efecto en el rendimiento de forraje verde o seco.

El objetivo del presente trabajo fue determinar el rendimiento de grano y de forraje de 22 híbridos de maíz y de sus generaciones F_2 y F_3 , para identificar los sobresalientes en rendimiento de grano o forraje en la F_1 o aquellos con un rendimiento sostenido a través de sus generaciones avanzadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el ciclo primavera-verano de 2002 bajo condiciones de riego en Rincón de Romos, Aguascalientes, México (22° 09' latitud norte, 102° 17' longitud oeste y 1912 msnm), cuyo clima es tipo BS_1 kw(w)(e) que se caracteriza por ser seco-árido, con lluvias en verano y temperatura media anual de 12 a 18°C (García, 1988). Los suelos son del tipo xerosol lúvico, de textura media, con profundidad de 0.50 a 1.00 m y pendiente menor que 3%.

Se evaluaron las generaciones F_1 , F_2 y F_3 de 22 híbridos de maíz, 20 de los cuales pertenecen a siete empresas comerciales de la región y dos al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Tres híbridos son de ciclo biológico precoz (68 días a floración masculina) y el resto tiene ciclo intermedio (85 días a floración masculina); tres de ellos tienen grano tipo dentado, 12 semi-dentado y siete grano semi-cristalino; 21 híbridos son de grano blanco cremoso y uno de grano blanco cristalino (Cuadro 1). La población F_2 de cada híbrido se obtuvo en 2000 y las F_3 en 2001, en Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. En cada ciclo se sembraron parcelas de seis surcos de 10 m de longitud por 0.76 m de ancho con F_1 , F_2 y F_3 , donde se tuvieron alrededor de 300 plantas por parcela para grano y 372 plantas para forraje.

El experimento se sembró el 5 de abril de 2002, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones; el diseño de tratamientos fue un arreglo factorial A (22 híbridos) x B (tres generaciones). La unidad experimental constó de seis surcos de 10 m de largo separados a 0.76 m, en pares para evaluar grano y forraje en las generaciones F_1 , F_2 y F_3 . La separación entre plantas en los surcos para grano fue de 0.20 m y para forraje, de 0.16 m. Los surcos para grano se fertilizaron con la dosis 160-60-00 de N-P₂O₅-K₂O y los de forraje con la dosis 200-60-00; en ambos casos la mitad del N y todo el P se aplicaron en el primer cultivo (35 días después de emergidas las plántulas) y el resto de N se aplicó en la escarda (50 días después de la emergencia). Las otras labores de cultivo se hicieron de acuerdo con el paquete tecnológico para maíz recomendado por el INIFAP en Aguascalientes (CEPAB, 1998).

En cada parcela experimental se registraron las variables siguientes: número de días de la siembra al 50% de la floración femenina y masculina, altura de planta y de mazorca en cinco plantas tomadas al azar por parcela, número total de mazorcas y número de mazorcas podridas por parcela, rendimiento de grano con 14% de humedad, así como el peso de forraje seco; para este dato se cortaron dos plantas al inicio de la madurez fisiológica, se seccionaron y

Cuadro 1. Características agronómicas de 22 híbridos de maíz evaluados en Aguascalientes, México, 2002.

Híbrido	Institución	Tipo de cruza	Ciclo vegetativo [†]	Textura de grano	Color de grano
SB-302	Semillas Berentsen	CSM	Intermedio	Dentado	Blanco cremoso
SB-304	"	CSM	"	"	"
AS-31	Aspros	CT	"	Semi-dentado	"
AS-910	"	CT	"	Dentado	"
AS-948	"	CT	"	Semi-dentado	"
AS-820	"	CT	Precoz	"	"
Gilsa-120	Gilsa	CT	Intermedio	Semi-cristalino	"
Z-21	Heertz Seed	CT	"	"	"
Z-60	"	CT	Precoz	Semi-dentado	"
C-922	"	CSM	Intermedio	Semi-cristalino	"
C-220	"	CT	"	Semi-dentado	"
C-526	"	CT	"	Semi-cristalino	"
30G40	Pioneer	CSM	"	"	"
A-7597	Asgrow	CT	"	"	"
Halcón	"	CT	Precoz	Semi-dentado	Blanco cristalino
Pantera	"	CT	Intermedio	Semi-cristalino	Blanco cremoso
Tromba	Ceres	CT	"	Semi-dentado	"
Tornado	"	CT	"	"	"
Trueno	"	CT	"	"	"
Fuego	"	CT	"	"	"
H-311	INIFAP	CD	"	"	"
H-361	"	CS	"	"	"

[†]Precoz = 68 días a 50% de floración masculina; Intermedio = 85 días a 50% de floración masculina; CSM = Cruza simple modificada; CT = Cruza triple; CD = Cruza doble; CS = Cruza simple.

colocaron en bolsas de papel perforadas para secarlas en estufa de aire forzado a 80 °C durante 36 h.

Los datos de rendimiento de grano y de forraje se sometieron al análisis de covarianza (ANCOVA), en el que la variable independiente fue el número de plantas por parcela; cuando el análisis detectó diferencias significativas entre híbridos se realizaron pruebas de medias según la diferencia mínima significativa (DMS, $p \leq 0.05$); también se obtuvieron los coeficientes de correlación simple entre las variables medidas.

El análisis estadístico se efectuó con el programa Statistica versión 5 (Statsoft, 1997).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ANCOVA del rendimiento de grano y forraje seco detectó diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre los híbridos y las generaciones avanzadas (Cuadro 2). La covariable resultó significativa en

ambas características, por lo que la prueba de medias se realizó con los valores ajustados.

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de covarianza y significancia estadística del rendimiento de grano y de forraje seco de las generaciones F_1 , F_2 y F_3 de 22 híbridos de maíz.

Fuente de variación	Gl	Grano	Forraje seco
Covariable	1	18.31**	187.54 **
Repeticiones	2	3.17 NS	206.03 **
Híbridos (H)	21	10.80 **	40.82 **
Generaciones (G)	2	144.63 **	193.57 **
H x G	42	2.64 NS	13.92 NS
Error	129	2.23	17.14
Total	197		

Gl= Grados de libertad; **= Significancia estadística a $p \leq 0.01$; NS= No significativo.

Para identificar híbridos sobresalientes se consideró la diferencia numérica, en tanto que la diferencia estadística estuvo dada por la DMS (Cuadro 3), en donde el genotipo con mayor rendimiento de grano en F_1 fue el híbrido Fuego, seguido del H-361, AS-948 y H-311; en F_2 resultaron sobresalientes SB-304, SB-302, H-361 y AS-948, mientras que en F_3 el mayor rendimiento de grano se obtuvo con SB-304, H-361, Z-21 y AS-910; en promedio, de las tres generaciones sobresalieron los híbridos H-361, SB-304 y AS-948, en tanto que Tornado mostró un rendimiento de grano similar en las tres generaciones, lo que indicó efectos mínimos por endogamia en esta característica. El rendimiento medio de grano de los 22 híbridos disminuyó 27% al pasar de F_1 a F_2 , y 24% en F_3 , mientras que en los híbridos sobresalientes en F_1 la reducción del rendimiento medio fue de 45% para Fuego, de 13% para SB-304 y de 8% en Tornado.

En cuanto a forraje seco, siete de los híbridos evaluados, fueron sobresalientes en rendimiento en la generación F_1 , nueve en la F_2 , cinco en la F_3 y

cuatro en promedio de las tres generaciones (Cuadro 4). Los híbridos AS-948, Gilsa-120, Tornado y Fuego sobresalieron en rendimiento de forraje seco en las tres generaciones, lo que los hace recomendables en siembras para este propósito, en tanto que AS-948 mostró rendimiento similar a través de las tres generaciones; así mismo, Fuego y Tornado disminuyeron su rendimiento de 8 a 16% al pasar de F_1 a F_2 y de 24 a 29% al pasar a F_3 ; Halcón fue de 15 a 20 días más precoz que la mayoría de los híbridos evaluados y mostró un rendimiento similar a través de las generaciones avanzadas, mientras que Z-60 incrementó su rendimiento 41% al pasar de F_1 a F_2 y 27% al pasar a F_3 . El rendimiento medio de forraje de los 22 híbridos disminuyó 8% al pasar de F_1 a F_2 y 18% al pasar a F_3 . Los híbridos AS-948 y Fuego resultaron sobresalientes tanto en rendimiento de grano como de forraje seco.

Con el avance generacional de los híbridos se incrementó el porcentaje de mazorcas podridas y se redujo la altura de planta y de mazorca, aunque no hubo cambios significativos en los días a floración masculina o femenina (Cuadro 5). El rendimiento de grano mostró asociación positiva y significativa con el rendimiento de forraje seco en F_1 y F_3 , aunque con un bajo coeficiente de correlación (Cuadro 6); el rendimiento de grano y forraje estuvo asociado positivamente con las características altura de planta y altura de mazorca en las tres generaciones, pero no con los días a floración.

En México es común el uso de semilla de generaciones avanzadas producidas a partir de híbridos de maíz, debido al alto costo de la semilla F_1 (Valdivia-Bernal y Vidal-Martínez, 1995). En el presente trabajo sólo dos híbridos (AS-948 y Fuego) de los 22 evaluados mostraron alto rendimiento tanto de grano como de forraje seco en las generaciones F_1 , F_2 y F_3 , mientras que el resto de los híbridos sobresalió solamente en rendimiento de grano o de forraje en alguna generación. También se observó que la mayoría de los híbridos produjo significativamente menos grano o forraje seco en F_2 y F_3 que en F_1 ; sin embargo, algunos tuvieron un rendimiento alto al considerar las tres generaciones. En atención a lo anterior el usuario de semilla de generaciones avanzadas de

Cuadro 3. Rendimiento medio de grano de las generaciones F₁, F₂ y F₃ de 22 híbridos de maíz en Aguascalientes, México. 2002.

Híbrido	Rendimiento (t ha ⁻¹)				Respecto a F ₁ (%)		
	F ₁	F ₂	F ₃	Media	F ₂	F ₃	Media
SB-302	8.36	8.62	7.39	8.12	+03	-12	-4
SB-304	11.17	9.72	9.75	10.21	-13	-13	-13
AS-31	10.22	7.04	8.06	8.44	-31	-21	-26
AS-910	11.14	7.82	8.98	9.31	-30	-19	-25
AS-948	12.22	8.60	8.13	9.65	-30	-33	-32
Gilsa 120	8.40	8.20	7.89	8.16	-02	-06	-4
AS-820	8.26	5.50	6.09	6.62	-33	-26	-30
C-922	8.07	4.97	6.41	6.48	-38	-21	-29
Z-60	7.14	7.11	5.94	6.73	0	-17	-09
C-220	8.01	7.47	6.18	7.22	-07	-23	-15
Z-21	11.10	7.02	9.20	9.11	-37	-17	-27
C-526	9.59	6.92	6.66	7.72	-28	-31	-29
Halcón	10.36	7.16	7.54	8.35	-31	-27	-29
A-7597	10.42	7.49	7.53	8.48	-28	-28	-28
Pantera	11.76	7.31	6.26	8.44	-38	-47	-42
Tromba	8.47	7.40	7.50	7.79	-13	-11	-12
Tornado	8.85	8.00	8.35	8.40	-10	-06	-08
Trueno	10.77	7.79	8.82	9.13	-28	-18	-23
30G40	11.48	7.14	8.52	9.05	-38	-26	-32
H-361	12.97	8.61	9.26	10.28	-34	-29	-31
H-311	11.99	8.28	8.48	9.58	-31	-29	-30
Fuego	13.75	6.72	8.27	9.58	-51	-40	-45
Media	10.20	7.50	7.78	8.50	-27	-24	-25

DMS ($p \leq 0.05$) entre híbridos= 2.39; DMS ($p \leq 0.05$) entre generaciones = 0.51.

Cuadro 4. Rendimiento medio de forraje seco de las generaciones F₁, F₂ y F₃ de 22 híbridos de maíz en Aguascalientes, México, 2002.

Híbrido	Rendimiento (t ha ⁻¹)				Respecto a F ₁ (%)		
	F ₁	F ₂	F ₃	Media	F ₂	F ₃	Media
SB-302	16.60	19.98	15.63	17.40	+20	-6	+7
SB-304	22.11	13.51	17.77	17.80	-39	-20	-29
AS-31	19.12	19.36	14.39	17.62	+1	-25	-12
AS-910	18.79	12.68	13.49	14.99	-33	-28	-30
AS-948	21.06	21.95	21.20	21.40	+4	+1	+2
Gilsa 120	21.59	21.91	17.09	20.20	+1	-21	-10
AS-820	15.84	13.79	16.83	15.49	-13	+6	-3
C-922	18.11	14.76	13.40	15.42	-18	-26	-22
Z-60	11.65	16.44	14.83	14.31	+41	+27	+34
C-220	15.12	17.64	15.67	16.14	+17	+4	+10
Z-21	18.10	18.98	14.39	17.16	+5	-20	-8
C-526	18.07	13.51	12.47	14.68	-25	-31	-28
Halcón	19.34	20.16	19.58	19.69	+4	+1	+3
A-7597	21.63	17.43	13.34	17.47	-19	-38	-29
Pantera	19.71	20.20	15.71	18.54	+2	-20	-9
Tromba	17.72	14.01	15.71	15.81	-21	-11	-16
Tornado	24.68	20.80	17.44	20.97	-16	-29	-23
Trueno	15.98	18.50	11.81	15.43	+16	-26	-5
30G40	22.17	17.66	17.15	18.99	-20	-23	-21
H-361	19.72	13.88	12.96	15.52	-30	-34	-32
H-311	19.77	17.08	16.03	17.63	-14	-19	-16
Fuego	22.49	20.69	17.19	20.12	-8	-24	-16
Media	19.06	17.50	15.64	17.40	-8	-18	-13

DMS ($p \leq 0.05$) entre híbridos = 6.63; DMS ($p \leq 0.05$) entre generaciones = 1.42.

Cuadro 5. Medias de días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, y porcentaje de mazorcas podridas en las generaciones F₁, F₂ y F₃ de 22 híbridos de maíz en Aguascalientes, México. 2002.

Generación	DFM	DFF	APL (cm)	AMZ (cm)	MZPO (%)
F ₁	77.5	80.1	212.8	111.0	1.6
F ₂	78.1	81.4	209.3	100.3	3.8
F ₃	78.6	81.6	209.2	106.9	4.5
DMS ($p \leq 0.05$)	2.3	1.9	0.2	0.2	1.3

DFM= Días a floración masculina; DFF= Días a floración femenina; APL= Altura de planta; AMZ= Altura de mazorca; MZPO= Mazorcas podridas.

Cuadro 6. Coeficientes de correlación entre las variables medidas de las generaciones F₁, F₂ y F₃ de 22 híbridos de maíz en Aguascalientes.

Variable	Rendimiento	
	Grano	Forraje seco
Generación F ₁		
Rendimiento de forraje seco	0.27*	
Días a floración masculina	0.21NS	0.01NS
Días a floración femenina	0.24NS	0.02NS
Altura de planta (forraje)	0.35**	0.46**
Altura de mazorca (forraje)	0.36**	0.40**
Altura de planta (grano)	0.63**	0.47**
Altura de mazorca (grano)	0.52**	0.38**
Generación F ₂		
Rendimiento de forraje seco	0.07NS	
Días a floración masculina	0.21NS	-0.09NS
Días a floración femenina	0.21NS	-0.09NS
Altura de planta (forraje)	0.50**	0.34**
Altura de mazorca (forraje)	0.45**	0.32**
Altura de planta (grano)	0.53**	0.36**
Altura de mazorca (grano)	0.60**	0.36**
Generación F ₃		
Rendimiento de forraje seco	0.33**	
Días a floración masculina	0.14NS	-0.01NS
Días a floración femenina	0.20NS	-0.04NS
Altura de planta (forraje)	0.36**	0.37**
Altura de mazorca (forraje)	0.55**	0.48**
Altura de planta (grano)	0.47**	0.49**
Altura de mazorca (grano)	0.49**	0.51**

NS = No significativo ($p \leq 0.05$); *, ** = Significativo a $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$, respectivamente

híbridos de maíz deberá saber en qué proporción se reducirá el rendimiento de grano o de forraje seco del híbrido de su interés; además, deberá conocer otros datos complementarios, como el destino de la cosecha (grano, forraje, doble propósito) y la calidad nutritiva del grano y forraje, entre otros.

La disminución media del rendimiento de grano de los 22 híbridos probados fue mayor que la del rendimiento de forraje seco; lo anterior indica que la endogamia en maíz afecta en mayor medida a la producción de grano, por lo que deberá investigarse si el efecto negativo de la endogamia no se manifiesta en la calidad nutritiva del forraje. Respecto al rendimiento de grano, las reducciones observadas en F_2 (27%) y F_3 (24%) fueron similares a las reportadas por Coutiño-Estrada *et al.* (2004), quienes determinaron una reducción de 22.6% en híbridos F_2 evaluados en Chiapas, México, y también a los resultados señalados por Pixley y Bänziger (2001) en Zimbabwe, África, quienes observaron que el avance generacional de F_1 a F_2 redujo el rendimiento de grano en 32%. Sin embargo, es importante señalar que las reducciones en rendimiento de grano registradas en el presente estudio fueron mayores a las consignadas por los autores Ramírez-Vallejo *et al.* (1986) (12% en F_2 y 18% en F_3), Peña *et al.* (1989) (11% en F_2), Peña y Arellano (1990) (9.5% en F_2) y González *et al.* (1993) (16 en F_2 y 14% en F_3). Por el contrario, las reducciones en rendimiento fueron menores a las observadas por Ortiz y Espinosa (1990) (35% en F_2) y Valdivia-Bernal y Vidal-Martínez (1995) (45% en F_2 y 32% en F_3). Así mismo, sobresale el dato encontrado en Brasil donde se observó una reducción de 49% en el rendimiento de grano en 28 variedades de maíz al pasar de S_0 a S_1 (Patto-Pacheco *et al.*, 2002).

En cuanto a las características medidas, se observó una disminución de mayor magnitud al pasar de la generación F_1 a la F_2 que a la F_3 ; esto ocurrió debido a que en la F_2 existe un mayor desequilibrio genético que en la F_3 (Warren, 1969; Márquez, 1985). Al respecto, Ramírez-Vallejo *et al.* (1986) y Valdivia-Bernal y Vidal-Martínez (1995) consignaron resultados similares. Adicionalmente, estos últimos autores indicaron que el avance generacional en

híbridos de maíz ocasionó alargamiento del ciclo biológico del cultivo e incrementó el porcentaje de plantas acamadas y la cantidad de mazorcas podridas; además, redujo la altura de planta y la prolificidad; resultados similares se observaron en el presente trabajo.

No obstante que 16 de los 22 híbridos evaluados fueron originados por cruzamientos triples, además de cuatro cruza simples modificadas, una cruza simple y una doble, no se encontró alguna asociación entre el tipo de híbrido con su producción de grano o de forraje, aunque fue frecuente observar híbridos de cruza triple con mayor producción; así mismo, la mayor reducción en rendimiento de grano o forraje la presentaron los híbridos de cruza simple modificada (SB-302, C-922, 30G40 y SB-304), cruza simple (H-361) o cruza doble (H-311). Estos resultados indican que al intervenir mayor número de progenitores en la formación del híbrido existe mayor posibilidad de obtener híbridos y generaciones avanzadas con menor efecto negativo por endogamia. González *et al.* (1993) indicaron que los híbridos de tres líneas disminuyeron más su rendimiento que los de cuatro líneas, al pasar de la generación F_1 a la F_2 . Resultados similares consignaron Valdivia-Bernal y Vidal-Martínez (1995), quienes sugirieron utilizar híbridos con mayor número de progenitores (triples o dobles) en comparación con los originados por cruza simple, debido a que mostraron menores efectos de la endogamia producida por el avance generacional. Por el contrario, Patto-Pacheco *et al.* (2002) observaron en Brasil que las mayores depresiones endogámicas las mostraron las variedades de maíz de polinización libre con base genética más amplia, debido a que éstas nunca se habían sometido a endogamia.

El rendimiento de grano y de forraje seco se asocia positivamente con la altura de planta y de mazorca pero no con los días a floración en las tres generaciones estudiadas. Resultados similares reportaron Guimaraes *et al.* (2002) y Núñez *et al.* (2003) en cuanto a rendimiento y altura de planta; en cambio, Bolaños y Edmeades (1996), Arellano *et al.* (2003) y Núñez *et al.* (2003) encontraron relación negativa entre el rendimiento de grano y los días a floración.

Como indicaron Ramírez-Vallejo *et al.* (1986) y Valdivia-Bernal y Vidal-Martínez (1995), los productores de maíz con recursos económicos limitados podrían utilizar la semilla de generaciones avanzadas de híbridos, particularmente de aquellos con rendimientos similares al pasar de F_1 a F_2 y a F_3 ; sin embargo, deberán elegirse los híbridos que efectivamente muestren efectos reducidos por la endogamia producida por el avance generacional, fundamentalmente en la producción de grano o forraje. Estos autores, además de Coutiño-Estrada *et al.* (2004), indicaron que el efecto negativo de la endogamia reduce la productividad del maíz híbrido y, en consecuencia, las ganancias netas de la producción. No obstante lo anterior, Pixley y Bänziger (2001) demostraron que la utilización de semilla remanente de maíz para avanzar generacionalmente al híbrido o a la variedad de polinización libre permite destinar el costo de la semilla certificada hacia otros insumos (fertilizantes, herbicidas o labores de cultivo adicionales) en agroecosistemas de muy bajo rendimiento.

CONCLUSIONES

El rendimiento de grano de los 22 híbridos de maíz evaluados se redujo en promedio 27% al pasar de F_1 a F_2 y 24% en F_3 , mientras que el rendimiento de forraje seco se redujo 8 y 18% para F_2 y F_3 , respectivamente. Así mismo, el avance generacional incrementó el porcentaje de mazorcas podridas y redujo la altura de planta y de mazorca.

Los híbridos AS-948 y Fuego mostraron alto rendimiento de grano y de forraje seco en promedio en las tres generaciones.

El uso de semilla de generaciones avanzadas de híbridos de maíz, con efectos reducidos por endogamia, es una opción viable para productores de bajos recursos económicos, quienes podrían destinar los costos de la semilla híbrida para comprar otros insumos.

LITERATURA CITADA

- Arellano V., J. L.; Tut C., C.; María R., A.; Salinas M., Y. y Taboada G., O. R. 2003. Maíz azul de los Valles Altos de México. I. Rendimiento de grano y caracteres agronómicos. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(2):101-107.
- Bolaños, J. and Edmeades, G. O. 1996. The importance of the anthesis silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Field Crops Res.* 48:65-80.
- Campo Experimental Pabellón (CEPAB). 1998. Maíz para grano bajo riego. *In: Guía para la Asistencia Técnica Agrícola.* Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. p. 13-15.
- Coutiño-Estrada, B.; Sánchez G., G. y Vidal V., A. M. 2004. El uso de semilla F_2 de híbridos de maíz en la Frailesca, Chiapas, reduce el rendimiento y las ganancias netas. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:261-266.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4a. ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.
- González S., C.; Ron P., J. y Ramírez D., J. L. 1993. Cruzas entre híbridos comerciales de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 16:30-41.
- Guimaraes, P.; Juliatti, F. C.; Lopes, A. e Toshiyuki, O. 2002. Avaliação do desempenho agronomico de híbridos de milho em Uberlândia, MG. *Pesq. Agropec. Bras.* 37:597-602.
- Lowenberg-DeBoer, J. 2004. Camino sinuoso en la adopción de la agricultura de precisión. [En línea] Disponible en: <http://www.agriculturadeprecision.org/analecon/caminosinuoso.htm>. (Revisado el 27 de julio de 2004).
- Márquez S., F. 1985. Genotecnia vegetal. Tomo II. AGT Editor. México. p. 345-378.
- Martínez G., M. I. 2004. Caracterización genética y productiva para grano y forraje de híbridos de maíz y sus generaciones F_2 y F_3 en Aguascalientes,

- México. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico Agropecuario de Aguascalientes, Subdirección de Investigación y Graduados Agropecuarios. Aguascalientes, Aguascalientes, México. 85 p.
- Núñez H., G.; Contreras G., E. F. y Faz C., R. 2003. Características agronómicas y químicas importantes en híbridos de maíz para forraje con alto valor energético. *Téc. Pecu. Mex.* 41(1):37-48.
- Ortiz T., E. y Espinosa C., A. 1990. Rendimiento de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de la zona de transición El Bajío-Valles Altos por efecto de la utilización de semilla de generación F₁ y F₂. *Rev. Chapingo* 15:49-52.
- Patto-Pacheco, C. A.; dos Santos, M. X.; Damiao-Cruz, C.; Netto-Parentoni, S.; de Oliveira-Guimaraes, P. E.; Gomes e Gama, E. E.; da Silva, A. E.; Lemos de Carvalho, H.W. and Vieira-Júnior, P.A. 2002. Inbreeding depression of 28 maize elite open pollinated varieties. *Genet. Mol. Biol.* 25:441-448.
- Peña O., M. G. y Arellano V., J. L. 1990. Efecto de la depresión endogámica sobre el rendimiento de grano y sus componentes en el maíz híbrido H-131. *Rev. Chapingo* 15:12-16.
- Peña R., A.; Martín del C., S. y Zapata R., A. 1989. Respuesta a la sequía de un híbrido de maíz y su generación F₄. *Rev. Fitotec. Mex.* 12:32-44.
- Pixley, G. and Bänziger, M. 2001. Open-pollinated maize varieties: A backward step or valuable option for farmers? *In: Friesen, D. K. and Palmer, A. F. E. (eds.). Integrated approaches to higher maize productivity in the new millennium. Proceedings of the Seventh Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference. Nairobi, Kenya. p. 22-28.*
- Ramírez-Vallejo, P.; Balderas-Macías, M. y Gerón-Xavier, 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 Agropecuaria y Pesquera (SIEA). 2004. Avances de siembra y cosecha primavera-verano de 2003. [En línea] Disponible en: <http://www.siea.sagarpa.gob.mx>. (Revisada el 5 de marzo de 2004).
- Statsoft. 1997. Statistica for Windows (CD-ROM Computer File). Release 5.1. Tulsa, OK., USA.
- Valdivia-Bernal, R. y Vidal-Martínez, A. 1995. Efecto de generaciones avanzadas en la producción de diferentes tipos de híbridos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 18:69-76.
- Warren, F. S. 1969. Advanced generation of corn hybrids. *Forage Notes* 15:14-15.