

RENDIMIENTO DE GRANO Y FORRAJE EN HÍBRIDOS DE MAÍZ Y SU GENERACIÓN AVANZADA F₂^{*}

GRAIN AND FORAGE YIELD IN MAIZE HYBRIDS AND THEIR ADVANCED F₂ GENERATION

Rodolfo Gaytán-Bautista¹, Ma. Isabel Martínez-Gómez¹ y Netzahualcóyotl Mayek-Pérez^{2§}

¹Campo Experimental Pabellón, INIFAP. Carretera Aguascalientes-Zacatecas km 32.5, Pabellón de Arteaga, C. P. 20671, Aguascalientes. México, (rgaytan1951@yahoo.com.mx). ²Centro de Biotecnología Genómica- Instituto Politécnico Nacional. Blvd. del Maestro esq. Elías Piña s/n, colonia Narciso Mendoza, C. P. 88710, Reynosa, Tamaulipas, México. [§]Autor para correspondencia: nmayek@ipn.mx.

RESUMEN

Ante el alto costo de la semilla de híbridos de maíz, los productores a pequeña escala usan semilla en generaciones F₂ y F₃. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de utilizar semilla autofecundada de híbridos sobre el rendimiento de grano y forraje seco de híbridos de maíz. El estudio se estableció bajo condiciones de riego en Tepezalá y Pabellón de Arteaga, Aguascalientes y Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México en el ciclo 2001. Se sembraron 22 híbridos comerciales y su respectiva generación avanzada F₂. Se determinó rendimiento de grano y forraje, altura de planta, días a floración masculina y femenina y altura de mazorca. Se utilizó un arreglo en parcelas subdivididas con diseño en bloques completamente al azar y tres repeticiones. Se efectuó el análisis conjunto de la relación beneficio/costo. En general, usar semilla F₂ redujo 22% el rendimiento de grano y 8% de forraje seco. La mayoría de los híbridos y sus generaciones avanzadas mostraron estabilidad en el rendimiento de grano y forraje seco en las tres localidades. En promedio, el avance generacional redujo 9% la relación beneficio/costo en la producción de grano; sin embargo, la incrementó 11% en la producción de forraje seco. Los híbridos SB-302 y AS-948 mostraron alto rendimiento de grano y forraje, menor reducción con el avance de generación y alta relación beneficio/costo.

Palabras clave: *Zea mays* L., beneficio/costo, generaciones F₁ y F₂ de híbridos.

ABSTRACT

To cope with the high seed cost of maize hybrids, small-scale farmers use F₂ and F₃ seed. The objective of this study was to determine the effect of using seed from self-pollinated hybrids on grain and forage yields of maize hybrids. The study was conducted under irrigated conditions at Tepezalá and Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, and Calera de Victor Rosales, Zacatecas, Mexico during 2001. Twenty-two commercial hybrids and their respective advanced F₂ generation were sown under a split split plot arrangement in a complete random block design with three replications. Grain and forage yield, plant height, days to masculine and feminine flowering and husk height were determined. A profit/cost analysis was performed. On average, the use of F₂ seed diminished 22% grain and 8% forage yields. Most of the hybrids and their advanced generations did show grain and dry forage yield stability across locations. Due to generational advance, the profit/cost ratio diminished

* Recibido: Junio, 2008
Aceptado: Julio, 2009

9% for grain production and increased 11% for dry forage production. Hybrids SB-302 and AS-948 showed high grain and dry forage yields, less reduction with the advance of generation and high profit/cost ratios.

Key words: *Zea mays* L., F_1 and F_2 hybrid generations, profitability.

INTRODUCCIÓN

En los estados de Aguascalientes y Zacatecas se siembran 34 mil ha con maíz bajo riego para la producción de grano y 15 500 para forraje, con rendimientos promedio de 5.2 y 50.0 t ha⁻¹, respectivamente (SIAP, 2007). A partir de 1990 se incrementó el uso de híbridos de maíz en Aguascalientes, debido a los subsidios que se aplicaron para la adquisición de semilla certificada, y promoción de las empresas comercializadoras de semilla (Reyes y Robles, 1997). A nivel nacional, sólo 25% de la superficie sembrada con maíz se cultiva con híbridos o variedades registradas de polinización libre (Nadal, 2000). Ante el alto costo que representa la adquisición de semilla de híbridos F_1 , los productores usan semilla de generaciones avanzadas F_2 y F_3 de híbridos comerciales, a la espera de que el rendimiento y calidad del grano no se vea afectado en forma significativa. La semilla la obtienen mediante la conservación de grano de la cosecha anterior y con ella siembran el siguiente ciclo de cultivo (Valdivia y Vidal, 1995; De León *et al.*, 1998). Por ello, el desarrollo de híbridos de maíz con alto rendimiento de grano en F_1 y mínima depresión endogámica en F_2 podría favorecer a los productores a pequeña escala de Aguascalientes y Zacatecas. Lo anterior, es posible en el caso de que el vigor híbrido este determinado por la acción equilibrada de genes co-dominantes y semi-dominantes (De León *et al.*, 1998).

La pérdida de vigor híbrido después de la autofecundación de individuos heterocigóticos es un fenómeno de importancia práctica para los fitomejoradores. Los estudios sobre el efecto del avance generacional por autofecundación en maíz difieren en los resultados; por ejemplo, Ramírez *et al.* (1986) observaron reducciones de 12 a 18% en el rendimiento de grano en las F_2 respecto a la F_1 de híbridos tropicales, Valdivia y Vidal (1995) observaron reducciones 45% en el estado de Nayarit y Coutiño *et al.* (2004) de 22.6% en Chiapas (con 17% de reducción en la relación beneficio/costo). Espinosa-Calderón *et al.* (1990; 1993) citados por Morris *et al.* (1999) observaron 25 y 51%

menor rendimiento de grano en F_2 en comparación con los híbridos F_1 de cruza simple (H-34) y de cruza doble (H-30, H-33, H-36), respectivamente.

Ortiz y Espinosa (1990) reportaron reducción de 35% en rendimiento de grano del híbrido H-149E con semilla F_2 . Por su parte, Patto-Pacheco *et al.* (2002) observaron 49% de reducción en variedades de maíz de Brasil. Otros efectos de la autofecundación en maíz son: ampliación del ciclo biológico, incremento en acame, incremento en el porcentaje de pudrición de mazorca y reducción de altura de planta y de la prolificidad (Valdivia y Vidal, 1995; Coutiño *et al.*, 2004). Pixley y Bänziger (2001) reportaron que el avance generacional redujo 32% el rendimiento de grano de híbridos de maíz y 5% de variedades de polinización libre.

Los híbridos de maíz que se utilizan en México se han desarrollado para la producción de grano y los progenitores muestran diferencias en altura de planta y ciclo biológico, entre otras características. Los híbridos de maíz forrajero que se cultivan en México tienen bajo valor energético (en comparación con los de EE.UU) debido a que sólo se dio énfasis al mejoramiento del rendimiento de grano, sin considerar la calidad del forraje (Núñez *et al.*, 2003); el cual es de bajo valor nutritivo por el alto contenidos de fibra (digestibilidad) y baja energía metabolizable (Núñez *et al.*, 2005). En general, los híbridos de maíz de alto rendimiento de grano muestran alto contenido de energía metabolizable (Núñez *et al.*, 2003) y alta digestibilidad (Núñez *et al.*, 2001). En la región de La Laguna, bajo condiciones de riego, el rendimiento de forraje seco alcanzó 19 t ha⁻¹ (Núñez *et al.*, 2003), mientras que en ambientes favorables, Peña *et al.* (2006) reportaron rendimientos de forraje seco de 17.6 a 23 t ha⁻¹ con el híbrido H-376 y de 20 a 23.9 t ha⁻¹ con H-157. El avance generacional en cuanto a producción de forraje muestra resultados contrastantes. Peña *et al.* (2003) observaron que las F_2 de híbridos forrajeros adaptados a las condiciones agroecológicas de Aguascalientes no difirieron de los respectivos F_1 en calidad forrajera. En otro estudio, Peña *et al.* (2002) observaron que los híbridos F_1 mostraron mayor eficiencia productiva y rendimiento de forraje seco en comparación con sus F_2 . El desarrollo de híbridos de doble propósito es la alternativa en el corto y mediano plazos para incrementar la rentabilidad del maíz en el centro de México.

Existen híbridos con reducido efecto negativo en el rendimiento de grano y forraje al ser utilizadas en F_2 por lo que es posible utilizar las generaciones avanzadas

para reducir el costo de producción del cultivo (Luna, 2003). El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto del avance generacional sobre el rendimiento de grano y forraje seco de 22 híbridos comerciales de maíz y su respectiva generación avanzada F₂, adaptados a las regiones productoras de Aguascalientes y Zacatecas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó durante 2001 bajo condiciones de riego en las localidades de Pabellón de Arteaga (22° 09' latitud norte 102° 17' longitud oeste, 1 912 m) y Tepezalá, Aguascalientes (22° 13' latitud norte, 102° 10' longitud oeste, 2 090 m) y Calera de Víctor Rosales, Zacatecas (22° 33' latitud norte, 102° 51' longitud oeste, 2 197 m). Las tres localidades presentan clima seco-árido con lluvias en verano y temperatura media anual

de 12 a 18 °C (García, 1988); los suelos son del tipo Xerosol lúvico con textura media y profundidad de 50 a 100 cm, con pendientes menores a 8%.

Se utilizaron 22 híbridos comerciales: 20 de siete empresas productoras de semilla y dos (H-361 y H-311) desarrollados y liberados por el programa de maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (Cuadro 1). Se obtuvo semilla F₂ de cada híbrido por medio de cruza fraternal en Pabellón de Arteaga, Aguascalientes en 2000, se polinizaron 30 plantas de cada híbrido con una mezcla de polen de las mismas. En Pabellón de Arteaga se sembró el 18 de mayo, en Tepezalá el 14 de junio y en Calera de Víctor Rosales el 25 de abril de 2001. Durante el ciclo, la media de las temperaturas máxima y mínima y la precipitación pluvial fueron: 27.3 y 11.1 °C y 404 mm, respectivamente en Pabellón de Arteaga; 27.8 y 12.6 °C y 311 mm en Tepezalá y 25.2 y 11.0 °C y 291 mm en Calera de Víctor Rosales.

Cuadro 1. Origen, ciclo vegetativo y características del grano de 22 híbridos de maíz.

Híbrido	Origen	Ciclo vegetativo*	Textura de grano	Color de grano
SB-302	Semillas Berentsen	Intermedio	Dentado	Blanco cremoso
SB-304	"	"	"	"
AS-31	Aspros	"	Semi-dentado	"
AS-910	"	"	Dentado	"
AS-948	"	"	Semi-dentado	"
AS-820	"	Precoz	"	"
Gilsa-120	Gilsa	Intermedio	Semi-cristalino	"
Z-21	Heertz Seed	"	"	"
Z-60	"	Precoz	Semi-dentado	"
C-922	"	Intermedio	Semi-cristalino	"
C-220	"	"	Semi-dentado	"
C-526	"	"	Semi-cristalino	"
30G40	Pioneer	"	"	"
A7597	Asgrow	"	"	"
Halcón	"	Precoz	Semi-cristalino	Blanco
Pantera	"	Intermedio	"	Blanco cremoso
Tromba	Ceres	"	Semi-dentado	"
Tornado	"	"	"	"
Trueno	"	"	"	"
Fuego	"	"	"	"
H-311	INIFAP	"	"	"
H-361	"	"	"	"

* precoz= 68 días a floración masculina media; intermedio= 85 días a floración masculina media.

Se utilizó un arreglo de parcelas subdivididas con diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en cada localidad. Los factores estudiados fueron: localidad, híbrido y generación. La unidad experimental constó de cuatro

surcos de 10 m de largo, separados a 0.76 m; en dos surcos se evaluó el rendimiento de grano y en los otros dos el de forraje. La densidad de siembra fue a 0.2 m entre plantas para la determinación de rendimiento de grano y a 0.16 m para

forraje. Los surcos para grano se fertilizaron con la dosis 160-60-00 de N_2 , P_2O_5 y K_2O_5 , respectivamente y los de forraje con 200-60-00; en ambos casos, la mitad del N y todo el P se aplicaron 30 días después de la emergencia y el resto del N se aplicó 20 días después. En los surcos para rendimiento de grano se determinó el número de días desde la siembra a floración femenina y masculina, altura de planta y de mazorca, número de mazorcas por parcela y rendimiento de grano al 14% de humedad. En los surcos para rendimiento de forraje se determinó el peso en fresco cuando la 'línea de leche' del grano mostró 1/3 de avance (Núñez *et al.*, 2001); posteriormente, se seccionaron las plantas y se colocaron en bolsas de papel perforadas para secado a 80 °C por 36 h y se determinó el peso de forraje seco.

El análisis financiero se realizó con base en el rendimiento de grano y forraje seco promedio de cada híbrido en las tres localidades, de acuerdo con el procedimiento descrito por Martínez *et al.* (2006) para el cálculo de costo total, ingreso total, utilidad neta y relación beneficio/costo (B/C) expresados en pesos mexicanos con los precios de insumos y mano de obra de 2001. Este análisis sólo presenta los resultados relativos a B/C. La

información registrada en campo se procesó mediante el análisis de varianza combinado en un modelo mixto en el que los efectos aleatorios fueron las localidades de prueba y los efectos fijos de los híbridos, generaciones e interacciones (Martínez, 1988). Para la separación de medias entre tratamientos se calculó la diferencia mínima significativa (DMS, $p < 0.05$), así como los coeficientes de correlación simple entre las características medidas. El análisis estadístico se efectuó con el programa SAS versión 6.12 para Windows (SAS, 1997). Los parámetros de estabilidad (Eberhart y Russell, 1966) del rendimiento de grano y forraje seco se calcularon para los híbridos y sus generaciones avanzadas con el programa de cómputo de Ortega y Magaña (1992) con base en los criterios descritos por Castañón (1994).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para todas las características medidas y todas las fuentes de variación, con excepción de la interacción localidad x generación/híbrido (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cuadrados medios y coeficientes de variación del análisis de varianza combinado de 22 híbridos de maíz sembrados en tres localidades del centro de México en 2001.

Fuente de variación	GL	RFF	RFS	RG	DFM	DFF	AMZ	AP
Localidades (L)	2	2956.9**	200.4**	240.2**	5864.6**	4314.0**	50847.1**	161128.1**
Repeticiones(R)/L	6	122.9	7.4	35.0	11.5	35.8	675.2	1028.8
Híbridos (H)	21	38.6*	2.5**	6.4**	520.2**	541.8**	1934.5**	2306.8**
L x H	42	21.5**	1.9**	1.4**	9.2**	13.8**	205.6**	287.2**
H x R/L	84	7.5	1.2	0.8	8.2	8.1	226.5	168.6
Generaciones (G)	1	39.2**	5.6**	1.7**	8.5**	9.3**	231.3**	221.8**
G/H	21	17.1**	4.7**	7.0**	6.9**	11.3**	252.9**	260.4**
L x G	2	21.8**	2.4**	1.1**	7.2**	8.1**	191.2**	328.6**
L x G/H	42	2.6ns	0.8ns	0.2ns	0.6ns	2.04ns	88.2ns	99.2ns
Error	175	1.9	0.8	0.3	0.7	2.2	100.2	84.9
CV (%)		9.4	18.5	12.4	1.0	1.7	8.6	4.1
Media		14.6	4.8	4.6	82.8	85.2	116.1	224.3

RFF= rendimiento de forraje fresco; RFS= rendimiento de forraje seco; RG= rendimiento de grano; DFM= días a floración masculina; DFF= días a floración femenina; AMZ= altura de mazorca; AP= altura de planta; CV= coeficiente de variación; GL= grados de libertad. El número entre paréntesis en los grados de libertad del error se refiere a los casos en que no se analizó la información con base en el análisis de covarianza. ** significativo ($p \leq 0.01$); NS= no significativo ($p \leq 0.05$). La fuente de variación R/L probó: localidades, H x R/L probó el efecto de híbridos y L x H y el error probó el efecto de generaciones, G/H, L x G y L x G/H.

Resultados similares se observaron en variedades de maíz con origen y estatus genético diferente, tanto en México (Arellano *et al.*, 2003; Núñez *et al.*, 2003; Coutiño *et al.*, 2004; Peña *et al.*, 2006) como en otros países (Meeske *et al.*, 2000; Guimaraes *et al.*, 2002). Los más altos rendimientos de grano y forraje seco se observaron en Tepezalá; la máxima altura de planta y días a floración femenina y masculina en Calera de Víctor Rosales y la máxima altura de mazorca en Tepezalá y Calera de Víctor Rosales (Cuadro 3). Lo anterior indicó que las condiciones de cultivo en la localidad de Pabellón de Arteaga fueron las menos favorables, posiblemente debido a la menor fertilidad y profundidad del suelo en comparación con las otras. Guimaraes *et al.* (2002) observaron en Brasil

diferencias significativas entre híbridos de maíz debido a la diversidad genética del germoplasma y a la variación entre ambientes de prueba.

Los más altos rendimientos de grano en F₁ se observaron en los híbridos Pantera, 30G40, Z-21, SB-302 y SB-304 y en F₂ en SB-302 y Pantera. Los híbridos con alto rendimiento de forraje en F₁ se observaron en Halcón, Z-60, AS-31, Fuego y H-311 y en F₂ en AS-948, SB-302, AS-31 y Pantera. El avance generacional redujo 22% rendimiento de grano y 8% de forraje seco. Todos los híbridos mostraron reducción en rendimiento de grano por efecto del avance generacional, los menos afectados fueron SB-302, Gilsa-120, AS-948 y Halcón; en contraste, AS-948 produjo más forraje seco en F₂ que en F₁.

Cuadro 3. Promedios de características agronómicas de 22 híbridos de maíz y sus generaciones avanzadas F₂ en tres localidades del centro de México. 2001.

Localidad	Rendimiento(t ha ⁻¹)			Días a floración		Altura (m)	
	Grano	Forraje seco	Forraje fresco	Masculina	Femenina	Planta	Mazorca
Calera de Víctor Rosales	4.5	4.4	18.3	90	91	2.6	1.3
Pabellón de Arteaga	3.7	3.5	10.3	77	80	1.9	0.9
Tepezalá, Aguascalientes	6.1	5.7	15.3	81	84	2.2	1.3
DMS (<i>p</i> <0.05)	0.3	0.2	0.6	1	2	0.1	0.1

Los híbridos que mostraron alta disminución promedio en rendimiento de grano y forraje seco fueron: Fuego, AS-820, Halcón y Z-60 y el de menor efecto negativo, SB-302 (Cuadro 4). El avance generacional no afectó significativamente los días a floración femenina y masculina ni redujo la altura de planta y mazorca y los valores del error estándar de todas las variables se redujeron en F₂ (Cuadro 5).

Las diferencias en rendimiento de grano y forraje observadas entre híbridos como consecuencia del avance de generación se deben principalmente al origen del germoplasma progenitor (patrones heteróticos, aptitud combinatoria, nivel de endogamia) más que al número de líneas que participan en la formación de cada híbrido dado que la mayoría de ellos son cruza trilineales (Morris *et al.*, 1999; Gaytán *et al.*, 2005). El efecto negativo en rendimiento de grano de F₁ a F₂ fue menor que el reportado por Valdivia y Vidal (1995) y Espinosa *et al.* (1990; 1993) citados por Morris *et al.* (1999) quienes observaron reducción de 45, 42 y 51%, respectivamente; así como Ortiz y Espinosa (1990) (35%) y

Patto-Pacheco *et al.* (2002) (49%). Peña y Arellano (1990); Ramírez *et al.* (1986) y De León *et al.* (1998) observaron reducción de 9.5, 12 a 18 y 15%, respectivamente por efecto del avance generacional en maíz; mientras que Coutiño *et al.* (2004) reportó 22% de reducción en rendimiento de grano.

Se observó una ligera disminución en la producción de forraje seco, a diferencia de Peña *et al.* (2002) quienes reportaron reducción de 25% con el avance generacional de híbridos de maíz. Núñez *et al.* (2003) observaron baja asociación entre productividad y calidad del forraje de maíz. Aunado a lo anterior, los rendimientos de grano y de forraje seco fueron menores que los reportados por otros autores en experimentos conducidos en regiones tropicales y subtropicales de México (Ramírez *et al.*, 1986; Valdivia y Vidal, 1995; De León *et al.*, 1998; Núñez *et al.*, 2003; Coutiño *et al.*, 2004; Peña *et al.*, 2006) lo que indica que hubo efecto ambiental restrictivo en la productividad del germoplasma de maíz

evaluado. Los valores del error estándar en las variables medidas fueron más bajos en F_2 que en F_1 , lo cual podría deberse a la reducción del rendimiento en la F_2 y a la

posterior ‘estabilización’ del rendimiento en generaciones subsecuentes originada por el equilibrio de los genes con distintos tipos de acción génica (De León *et al.*, 1998).

Cuadro 4. Rendimiento promedio de tres localidades de grano y de forraje seco de la F_1 y F_2 de 22 híbridos de maíz sembrados en tres localidades del centro de México. 2001.

	Grano ($t\ ha^{-1}$)			Forraje seco ($t\ ha^{-1}$)		
	F_1	F_2	% vs F_1	F_1	F_2	% vs F_1
SB-302	5.7	5.3	-7	5.1	5.2	+2
SB-304	5.7	4.1	-28	5.2	4.7	-10
AS-31	5.6	4.3	-23	6.0	4.9	-19
AS-910	5.4	4.3	-21	4.9	4.0	-19
AS-948	5.0	4.3	-14	4.7	5.3	+13
AS-820	3.4	2.7	-21	5.2	3.3	-37
Gilsa-120	4.6	4.1	-11	5.2	4.8	-8
Z-21	5.9	4.4	-25	5.2	4.6	-12
Z-60	3.8	3.1	-19	6.0	4.0	-33
C-922	5.0	3.8	-24	4.6	3.8	-18
C-220	4.7	3.9	-17	4.5	4.7	+5
C-526	4.5	3.6	-20	4.1	3.8	-7
30G40	5.9	4.1	-31	5.3	4.7	-11
A-7597	5.6	4.4	-22	5.0	4.4	-12
Halcón	4.2	3.6	-14	6.1	3.7	-39
Pantera	6.2	4.9	-21	5.0	4.9	-2
Tromba	5.0	4.0	-20	4.3	4.1	-5
Tornado	5.2	3.9	-25	4.5	4.6	+2
Trueno	5.4	4.2	-22	5.3	4.5	-15
Fuego	5.6	3.5	-38	5.8	4.3	-26
H-311	5.4	3.9	-28	5.8	4.8	-18
H-361	5.5	3.8	-31	5.2	4.3	-17
Media	5.2	4.0	-22	5.1	4.4	-8
DMS ($p=0.05$)	0.5			0.4		

Cuadro 5. Promedios \pm error estándar de floración masculina y femenina y de altura de planta y mazorca de generaciones F_1 y F_2 de 22 híbridos de maíz en tres localidades del centro de México. 2001.

Generación	Días a floración masculina		Días a floración femenina		Altura de planta (m)		Altura de mazorca (m)	
	F_1	F_2	F_1	F_2	F_1	F_2	F_1	F_2
Media	82	84	84	86	2.3	2.2	1.2	1.1
\pm Error estándar	5.4	5.3	5.7	5.3	0.12	0.11	0.13	0.11

El análisis de correlación mostró asociación positiva altamente significativa entre todas las variables, tanto en F_1 como en F_2 (Cuadro 6). Guimaraes *et al.* (2002) observaron asociación positiva entre rendimiento de grano y altura de planta; Núñez *et al.* (2003), reportaron resultados

similares entre rendimiento de forraje y altura de planta y días a cosecha. Contrario a los resultados de esta investigación, Bolaños y Edmeades (1996); y Arellano *et al.* (2003) observaron relación negativa entre el rendimiento de grano y días a floración, lo que indicó que el menor

potencial de rendimiento estuvo asociado con el ciclo tardío del germoplasma. Los resultados mostraron que las características asociadas positiva y significativamente con el rendimiento de grano o de forraje: ciclo más tardío, mayor altura de planta y alto número de mazorcas podrían utilizarse en la selección de germoplasma de doble propósito en regiones agrícolas bajo riego y con condiciones climáticas similares a los sitios de evaluación incluidos en esta investigación; además de las características deseables adicionales como resistencia al acame y a enfermedades.

El análisis de la estabilidad del rendimiento de grano y forraje seco mostró diferencias altamente significativa entre híbridos F₁ y generaciones F₂ y en la interacción

híbridos x ambientes lineal (Cuadro 7), lo que indica que la respuesta de los híbridos fue diferente en cada ambiente de prueba. No obstante, todos los híbridos fueron clasificados como estables, tanto en F₁ como en F₂ ($b_1 = 1$; $S^2d_1 = 0$), para producción de grano y de forraje seco, con excepción de Z-60 (F₁) que mostró buena respuesta en todos los ambientes pero en forma inconsistente para rendimiento de forraje seco y C-922 (F₂) con mejor respuesta en ambientes desfavorables y consistente para producción de grano, respectivamente. El avance generacional no afectó la estabilidad del rendimiento de grano y forraje seco. Mejía y Molina (2003) señalan que en las poblaciones mejoradas se incrementa la frecuencia de alelos favorables en cada *locus*, lo que les permite tomar ventaja cuando existen condiciones ambientales favorables.

Cuadro 6. Coeficientes de correlación simple entre características medidas.

Variable	DF	APL	AMZ	NMZ	RG	RFF	RFS
Híbridos							
DFM	0.98**	0.69**	0.55**	0.66**	0.72**	0.68**	0.62**
DF		0.66**	0.53**	0.61**	0.71**	0.69**	0.64**
APL			0.78**	0.55**	0.38**	0.64**	0.61**
AMZ				0.52**	0.55**	0.68**	0.60**
NMZ					0.74**	0.58**	0.65**
RG						0.64**	0.61**
RFF							0.99**
F ₂							
DFM	0.95**	0.70**	0.50**	0.55**	0.63**	0.55**	0.50**
DF		0.65**	0.48**	0.57**	0.62**	0.51**	0.48**
APL			0.77**	0.32**	0.34**	0.40**	0.41**
AMZ				0.32**	0.48**	0.42**	0.44**
NMZ					0.68**	0.35**	0.66**
RG						0.57**	0.52**
RFF							0.97**

DFM= días a floración masculina; DF= días a floración femenina; APL= altura de planta; AMZ= altura de mazorca; NMZ= número de mazorcas por planta; RG= rendimiento de grano; RFF= rendimiento de forraje verde; RFS= rendimiento de forraje seco; ** significativo ($p \leq 0.01$).

Cuadro 7. Cuadrados medios y significancia de las fuentes de variación del análisis de estabilidad del rendimiento de grano y forraje seco en 22 híbridos de maíz y sus generaciones F₂.

	GL	Cuadrados medios	
		Rendimiento de grano	Rendimiento de forraje seco
Poblaciones	43	2.22**	1.22*
Poblaciones x ambiente (lineal)	43	0.49*	0.87*
Desviación conjunta	44	0.26	0.52
Error conjunto	175	0.30	0.80

* significativo ($p \leq 0.05$); ** significativo ($p \leq 0.01$).

El análisis de la relación B/C de la producción de grano y forraje seco en los híbridos y sus generaciones avanzadas mostraron 9% de reducción de rendimiento de grano en promedio y 11% de incremento en rendimiento de forraje seco en la generación F_2 . Los híbridos SB-302 y AS-948 fueron los únicos que no mostraron reducción en la relación B/C en producción de grano. En la producción de forraje seco los híbridos Z-21, AS-948, A-7597 y Pantera mostraron las más altas relaciones B/C (Cuadro 8). Coutiño *et al.* (2004) reportaron reducción en la utilidad neta con el uso de semilla F_2 de 14 híbridos de maíz cultivados en Chiapas, México. La relación B/C del híbrido más productivo en Chiapas fue 1.67 en F_1

y 1.34 en F_2 , similares a los reportados en esta investigación. Los resultados demuestran que no obstante la baja productividad de grano y forraje seco en la región de estudio, la rentabilidad del cultivo de maíz de doble propósito no fue fuertemente afectada con el uso de semilla F_2 , particularmente, en la producción de forraje seco. Para las condiciones estudiadas, los híbridos SB-302 y AS-948; así como, sus generaciones avanzadas mostraron el menor efecto por avance de generación en comparación con los otros, lo que se reflejó en el rendimiento de grano y forraje y en la relación B/C. Ambos híbridos constituyen una opción viable en la producción de maíz de doble propósito en la región de estudio.

Cuadro 8. Relación beneficio/costo para la producción de grano y forraje seco de 22 híbridos de maíz y sus generaciones F_2 en Aguascalientes y Zacatecas, México. 2001.

Híbrido	B/C grano			B/C forraje seco		
	F_1	F_2	(%) vs F_1	F_1	F_2	(%) vs F_1
SB-302	1.58	1.62	+3	1.07	1.17	+9
SB-304	1.59	1.42	-11	1.08	1.20	+11
AS-31	1.61	1.42	-12	1.14	1.20	+5
AS-910	1.58	1.43	-9	1.11	1.17	+5
AS-948	1.45	1.47	+1	1.03	1.25	+21
AS-820	1.11	1.04	-6	0.95	1.06	+12
Gilsa-120	1.44	1.39	-3	1.10	1.18	+7
Z-21	1.68	1.63	-3	1.08	1.43	+32
Z-60	1.25	1.16	-7	1.02	1.11	+9
C-922	1.41	1.22	-13	0.93	1.00	+8
C-220	1.43	1.33	-7	1.05	1.13	+8
C-526	1.28	1.19	-7	0.87	1.00	+15
30G40	1.55	1.34	-13	1.01	1.11	+10
A-7597	1.50	1.44	-4	0.98	1.18	+20
Halcón	1.29	1.23	-5	0.96	1.05	+9
Pantera	1.65	1.58	-4	1.04	1.25	+20
Tromba	1.41	1.33	-6	0.93	1.09	+17
Tornado	1.50	1.35	-10	1.03	1.18	+15
Trueno	1.53	1.41	-8	1.06	1.18	+11
Fuego	1.65	1.26	-24	1.18	1.13	-4
H-311	1.66	1.36	-18	1.21	1.20	-1
H-361	1.61	1.29	-20	1.12	1.12	0
Promedio	1.49	1.36	-9	1.04	1.15	+11

CONCLUSIONES

El avance generacional F_1 a F_2 reduce en promedio el rendimiento de grano y forraje seco en 22 y 8%, respectivamente en los 22 híbridos comerciales estudiados en Aguascalientes y Zacatecas.

En promedio, la relación beneficio/costo se redujo 9% en la producción de grano y se incrementó 11% en la de forraje seco.

Los híbridos SB-302 y AS-948 sobresalen por alto rendimiento de grano y forraje seco, estabilidad en los ambientes estudiados, y baja depresión endogámica mostrada.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento de este trabajo al SIHGO-CONACYT (Proyecto 19990201021). Así como al Dr. Luis Reyes-Muro (INIFAP-Pabellón de Arteaga, México) en el análisis financiero incluido en este trabajo. Netzahualcóyotl Mayek-Pérez fue becario del Sistema Nacional de Investigadores (SIN) y de los programas EDI y COFAA del Instituto Politécnico Nacional.

LITERATURA CITADA

- Arellano, V. J. L.; Tut, C. C.; María, M. R.; 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.* 26:101-107.
- 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.
- Castañón, G. 1994. Estudio de la estabilidad en líneas avanzadas y variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) usando dos metodologías. *Agron. Mesoamer.* 5:118-125.
- 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.* 27:261-266.
- De León, H.; Jaramillo, A.; Martínez, G. y Rodríguez, S. 1998. Híbridos dobles de maíz de baja depresión endogámica en F₂. *Agron. Mesoamer.* 9:38-41.
- Eberhart, S. A. and Russell, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:22-35.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana). Cuarta edición. UNAM. México. 217 p.
- Gaytán, B. R.; Reyes, M. L.; Martínez, G. M. I.; Mayek, P. N.; Padilla, R. S. y Luna, F. M. 2005. Depresión del rendimiento de grano y forraje de híbridos de maíz en generaciones avanzadas. *Agric. Téc. Méx.* 31:165-175.
- Guimaraes, P.; Juliatti, F. C.; Lopes, A. e Toshiki, O. 2002. Avaliacao do desempenho agronomico de hibridos de milho em Uberlandia, MG. *Pesq. Agropec. Bras.* 37:597-602.
- Luna, F. M. 2003. ¿Porqué no se deja de producir maíz en México? *In: El campo no aguanta más.* Schwentesius, R.; Gómez, M. A. y Calva, J. L. (coords.). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. pp. 115-132.
- Martínez, G. A. 1988. Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría. Trillas. México. 756 p.
- Martínez, G. M. I.; Gaytán, B. R.; Reyes, M. L.; Mayek, P. N.; Padilla, R. J. S. y Luna, F. M. 2006. Rentabilidad de las generaciones F₁, F₂ y F₃ de híbridos de maíz. *Agrociencia* 40:677-685.
- Mejía, C. A. y Molina, G. J. D. 2003. Cambios de estabilidad en el rendimiento de variedades tropicales de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:89-94.
- Meeske, R.; Basson, H. M.; Peinar, J. P. and Cruywagen, C. W. 2000. A comparison of the yield, nutritional value and predicted production potential of different maize hybrids for silage production. *South African J. Anim. Sci.* 30:18-21.
- Morris, M. L.; Risopoulos, J. and Beck, D. 1999. Genetic change in farmer-recycled maize seed: a review of the evidence. CIMMYT Economics Working Paper No. 99-07. México, D. F. 69 p.
- Nadal, A. 2000. El caso del maíz mexicano en el NAFTA: Variabilidad genética y liberalización comercial. *Biodiversidad* 24:3-12.
- Núñez, H. G.; Faz, C. R.; Tovar, G. M. R. y Zavala, G. A. 2001. Híbridos de maíz para la producción de forraje con alta digestibilidad en el norte de México. *Téc. Pecu. Méx.* 39:77-88.
- 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. Méx.* 41:37-48.
- Núñez, H. G.; Faz, C. R.; González, C. F. y Peña, R. A. 2005. Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Téc. Pecu. Méx.* 43:69-78.
- Ortega-Alcalá, J. y Magaña-Torres, O. S. 1992. Parámetros de estabilidad en base al modelo propuesto por Eberhart y Russell (Computer File). Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Chapingo, México.
- Ortiz, T. E. y Espinosa, C. A. 1990. Rendimiento de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en 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-Junior, P. A. 2002. Inbreeding depression of 28 maize elite open pollinated varieties. *Genet. Mol. Biol.* 25:441-448.
- Pixley, G. and Bänziger, M. 2001. Open-pollinated maize varieties: a backward step or valuable option for farmers? *In: integrated approaches to higher maize productivity in the new millennium. Proceedings of the seventh eastern and southern Africa regional maize conference.* Friesen, D. K. and Palmer, A. F. E. (eds.). Nairobi, Kenya. pp. 22-28.
- Peña, R. A. 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.; Núñez, H. G. y González, C. F. 2002. Potencial forrajero de poblaciones de maíz y relación entre atributos agronómicos con la calidad. *Téc. Pecu. Méx.* 40:215-228.
- Peña, R. A.; Núñez, H. G. y González, C. F. 2003. Importancia de la planta y el elote en poblaciones de maíz para el mejoramiento genético de la calidad forrajera. *Tec. Pecu. Méx.* 41:63-74.
- Peña, R. A.; González, C. F.; Núñez, H. G.; Tovar, G. M. R.; Preciado, O. E.; Terrón, I. A.; Gómez, M. N. y Ortega, C. A. 2006. Estabilidad del rendimiento y calidad forrajera de híbridos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 29:109-114. (Número Especial 2).
- Ramírez, V. P.; Balderas, M. M. y 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.
- Reyes, M. L. y Robles, E. F. J. 1997. Impacto de la validación de tecnología en el programa kilo por kilo de maíz en Aguascalientes. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Pabellón. Pabellón de Arteaga, México. 20 p. (Folleto Informativo Núm. 7).
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2007. Anuario estadístico 2005. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (En línea). Disponible en <http://www.siap.gob.mx>. (Consultado el 25 de junio de 2007).
- Statistical Analysis System (SAS Institute). 1997. Version 6.12. Cary, NC, USA.
- 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.