

SELECCIÓN RECURRENTE RECÍPROCA EN MAÍZ: TOLERANCIA AL ATAQUE DEL GUSANO DE LA MAZORCA Y EL COGOLLERO (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)¹

Mario Fuentes², Alberto Pantoja², Antonio Sotomayor², James Beaver⁴

RESUMEN

Selección recurrente recíproca en maíz: tolerancia al ataque del gusano de la mazorca y el cogollero (Lepidoptera: Noctuidae). Se evaluaron el progreso de selección del rendimiento, características agronómicas y cuantificación del daño causado por *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) y *Helicoverpa zea* (Boddie) después de cuatro ciclos de selección en las poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) Ohio S9, Ohio S 10, Mayorbela y Diente de Caballo, bajo condiciones de control químico y de infestación natural. Los experimentos se realizaron en la finca experimental de la Estación de Investigación en Agricultura Tropical (TARS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos ubicada en Isabela, Puerto Rico. Se utilizó el diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones y los tratamientos se asignaron en un arreglo factorial de parcelas divididas a una densidad de 44.444 plantas/ha. Existieron diferencias significativas entre las poblaciones y ciclos de selección, para las variables rendimiento, altura de planta y de mazorca y por ciento de pérdida de rendimiento causado por los insectos en estudio. El mayor rendimiento se obtuvo con la población Ohio S10 con 4.824 kgl/ha y 169 kg/ha (1,2%) de ganancia, por ciclo de selección. Los últimos ciclos de selección superan en rendimiento y características agronómicas al ciclo inicial de selección de cada población en mejoramiento. Las pérdidas en rendimiento causado por *S. frugiperda* y *H. zea* variaron entre 3-21 % y 17-28%, respectivamente. Ohio S9 presentó la mayor pérdida de rendimiento causado por estos insectos.

ABSTRACT

Reciprocal recurrent selection in corn: tolerance to attack of the corn earworm and the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). The progressive selection of yield, agronomic characteristics and quantification of damages caused by *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) and *Helicoverpa zea* (Boddie), were evaluated after four selection cycles on maize populations (*Zea mays* L., varieties Ohio S9, Ohio S10, Mayorbela and Diente de caballo, under chemical control and natural infestation conditions. The experiments were carried out at an experimental site in a tropical agriculture research station (TARS), a USDA station located in Isabela, Puerto Rico. The experimental design consisted of random entire blocks with five repetitions, and treatments were assigned according to a factorial arrangement with parcels divided at a density of 44.444 plants/ha. Significant differences were found among populations and selection cycles for yield, plant and cob height, and percentage of insect-related losses*. The highest yield was obtained from the Ohio S 10 population with 4.824 kg/ha, and 169 kg/ha - a profit of 1.2% per selection cycle. The latest selection cycles showed a greater yield and better agronomic characteristics than the initial selection cycle of each population under improvement. Losses in yield caused by *S. frugiperda* and *H. zea* oscillated between 3-21 % and 17-28%, respectively. Ohio S9 showed the greatest losses in yield caused by these insects.



¹ Presentado en la XLI Reunión Anual del PCCMCA en Honduras, 1995.

² Departamento de Protección de Cultivos, Universidad de Puerto Rico.

³ Estación de Investigación en Agricultura Tropical (TARS), USDA.

⁴ Departamento de Agronomía, Universidad de Puerto Rico.

INTRODUCCION

El maíz (*Zea mays* L.), constituye uno de los alimentos básicos de mayor importancia y genera aproximadamente el 9% del total de alimentos a nivel mundial. El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 1993) estimó la producción de maíz en 526,6 millones de toneladas para 1992-93 (USDA, 1993). El rendimiento medio de maíz en muchos países localizados en la zona tropical es menor a los 1.000 kg/ha (Ortega *et al.*, 1980), debido entre otros factores al uso de cultivares con bajo potencial de rendimiento y pérdidas en rendimiento por factores de tipo biótico y abiótico.

Aunque en Puerto Rico el maíz no se siembra en gran escala, 224.000 toneladas de maíz seco se importan por año con un valor de \$29 millones (Quiles, 1983), especialmente para la elaboración de alimento en la industria ganadera y avícola. Se estima que la necesidad local se podría cubrir con la siembra 20.000 hectáreas utilizando suelos llanos mecanizables (Quiles, 1983; Madera, 1988).

La selección recurrente recíproca (SRR), es un sistema de mejoramiento interpoblacional utilizado para el desarrollo de dos poblaciones base que incrementan la frecuencia de genes para caracteres cuantitativos hereditarios por repetición de ciclos de selección. Se ha utilizado para incrementar el contenido de aceite, rendimiento, resistencia a factores bióticos y reducción del porcentaje de acame de raíz y tallo en poblaciones de maíz (Falconer, 1964; Poehlman, 1986; Keeratinjakal; Lankey, 1993). También se ha utilizado para producir híbridos que capitalizan los efectos genéticos aditivos, sobredominancia y epistasis en el desarrollo de cruzamientos entre dos poblaciones. La evaluación del progreso de cinco ciclos de SRR en las poblaciones de maíz BSSS y BSCB 1 indican aumento lineal del rendimiento y 124 kg/ha (4,6%) de ganancia por ciclo, no se indicaron cambios en altura de la mazorca y madurez, pero el acame de tallo se redujo de 42 a 20% (Eberhart *et al.*, 1973). Otros autores informan ganancias por ciclo de selección entre 120 y 270 kg/ha (Penny; Eberhart, 1971; Martín; Hallauer, 1980).

Al igual que en otros países localizados en la zona tropical, en Puerto Rico las larvas del gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) y del gusano de la mazorca, *Helicoverpa zea* (Boddie), son las plagas de mayor importancia económica en la producción comercial de maíz (Ortega; De Leon, 1974; Figueroa, 1983; Mihm *et al.* 1988). En el sur de los Estados Unidos, estos insectos causan pérdidas económicas valora-

das en \$250-300 millones por año y constituyen un serio factor limitante en la producción (Sparks, 1986). Infestaciones de *S. frugiperda* en 100% de plantas causaron 45% de reducción del rendimiento de grano de maíz (Hruska; Gladstone, 1988). El insecto infesta la planta de maíz a partir de la fase de plántula y causa daño en las hojas en etapas tempranas de desarrollo así como en la etapa de prefloración. Control químico de *S. frugiperda* usualmente se requiere en las primeras semanas de crecimiento (Webster; Walker, 1977). Materiales susceptibles a *S. frugiperda* muestran reducción en el crecimiento de la planta, mientras que materiales resistentes no muestran un efecto tan marcado en el crecimiento (Ortega *et al.*, 1980). Figueroa (1983), informa que la infestación de *H. zea* es casi total en siembras de maíz dulce y hasta de 60% en variedades para la producción de grano. La larva se mueve dentro de los canales de los estigmas para completar su ciclo de vida en la mazorca, retrasa el crecimiento del grano (Wiseman, 1989) y facilita la entrada de otros insectos y patógenos que causan enfermedades. La larva completa su desarrollo entre 14-18 días, muestra canibalismo y por lo general solo una larva se desarrolla por mazorca y es la que causa daño significativo en los cultivares susceptibles (Stinner *et al.* 1977; Figueroa, 1983; Wiseman, 1989). En el sudeste de los Estados Unidos, plantaciones de maíz dulce recibieron 15 a 20 aplicaciones de plaguicidas por ciclo de producción (Rogers, 1989). Wiseman *et al.* (1981) informa que la penetración de la larva hacia la mazorca de hasta 3 cm, en genotipos resistentes y entre 4,1-6,6 cm en genotipos susceptibles. Los mecanismos empleados para identificar resistencia a este insecto en variedades de maíz son: longitud y estrechez de la cobertura de mazorca (Widstrom *et al.*, 1992), textura cristalina del grano y estigmas con glucósidos de maysin que inhibe el desarrollo normal de la larva (Poehlman, 1986). Mihm (1985) indica que la selección y mejoramiento para desarrollar resistencia a insectos ocurre a través de tres mecanismos: antixenosis, antibiosis y tolerancia. Resistencia a *S. frugiperda* se identificó en germoplasma de maíz del Caribe (Wiseman *et al.* 1967) y moderados niveles de resistencia se han acumulado en germoplasma Tuxpeño. Tolerancia es el principal tipo de resistencia en materiales Tuxpeño mientras que antibiosis y antixenosis están presentes en el germoplasma caribeño.

El presente trabajo tuvo como objetivos, evaluar el progreso de selección del rendimiento y características agronómicas de cuatro poblaciones de maíz, después de cuatro ciclos de selección recurrente recíproca, caracterizar el daño causado por *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) y *Helicoverpa zea* (Boddie) en los diferentes ciclos de selección de cuatro poblaciones de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos experimentos en la finca experimental de la Estación de Investigación en Agricultura Tropical (TARS) del Departamento de Agricultura de Los Estados Unidos, ubicada en Isabela, Puerto Rico a 128 msnm., Latitud 18° 30' N y Longitud 67° W. El programa de investigación en maíz de TARS ha liberado cuatro poblaciones de maíz desarrollados por SRR. Se generaron cuatro ciclos de selección por cada población. La descripción de las poblaciones se presenta en el Cuadro 1 (Pollak *et al.* 1991).

Se utilizó un diseño de bloques completos aleatorios en arreglo factorial de parcelas divididas con cinco repeticiones. La parcela principal fue el tipo de tratamiento control químico (T) y la subparcela un arreglo factorial de cuatro poblaciones (P) y cuatro ciclos de selección (C). El control químico para el factor t_1 protegió a los ciclos de selección de infestación de insectos en todo el ciclo de cultivo. El control químico a partir de la siembra hasta la floración (t_2) cuantificó el daño causado por el gusano de la mazorca *H. zea* y la aplicación del control químico a partir de la floración hasta la madurez fisiológica (t_3) cuantificó el daño causado por el gusano cogollero *S. frugiperda*. Los experimentos se sembraron en dos épocas de siembra: El 7 de julio de 1993 y el 30 de marzo de 1994, respectivamente. Las unidades experimentales fueron de dos surcos de maíz

de 5 m de longitud. La distancia de siembra fue de 25 cm dentro de los surcos y 90 cm entre surcos, que corresponde a una densidad de 44.444 plantas/ha. Veinte días previo a la siembra de cada experimento se sembró maíz dulce variedad "Suresweet", como cultivo trampa con el fin de atraer insectos adultos de las plagas en estudio y aumentar la infestación en el ensayo. Las condiciones de manejo agronómico de los ensayos en relación al control de malezas y fertilización dependió de la incidencia y de las recomendaciones de la localidad y no constituyeron variable experimental. Para el control de plagas se realizaron aplicaciones alternas de los insecticidas Methomyl 0,5 kg/ha y *Bacillus thuringiensis* variedad Kurstaki a razón de 7 l/ha según la estructura de los factores en estudio. Se aplicó riego aéreo cuando fue necesario. La cosecha se efectuó cuando el cultivo alcanzó la madurez fisiológica (25-30% de humedad) y el rendimiento del grano se ajustó al 15% de humedad.

Las variables en evaluación fueron: rendimiento, días a la floración femenina, altura de la planta e inserción de la mazorca, porciento de mazorcas descubiertas y podridas, mazorcas por planta y porciento del índice de cosecha. La pérdida de rendimiento causado por *S. frugiperda* y *H. zea* se realizó en base a la relación entre parcelas tratadas químicamente e infestadas por insectos, respectivamente. En *S. frugiperda* se determinó el porciento de plantas infestadas y calificación de daño foliar a los 20, 35 y 50 días después de la siembra

Cuadro 1. Descripción del germoplasma de las poblaciones de maíz en evaluación. (Pollak *et al.* 1991).

Población	Ciclo	Descripción
Ohio S9	C ₀ al C ₃	Grupo A Lancaster x Tuxpantigua Compuesto 50% Tuxpeño x Antigua, procedente de CIMMYT; 3-4% de las líneas SD10, B52, Oh43, CI872, Pa405, CGI, Oh41, Va35, NO376, CI388, WF9, Mo22 y N6. Grano color amarillo semicristalino.
Ohio S10	C ₀ al C ₃	Grupo B Reid x (Tuxpeño x Cubano flint) 50% de PD(MS)6xCompuesto Tuxpeño; 3-4% de las líneas Pa32, MS 1334, M14, A239, A96, W22R, 020h26, Oh7B, BI4A, Pa884P B37, CI64 y H55. PD(MS)6. Grano color amarillo semicristalino.
Mayorbela	C ₀ al C ₃	Desarrollado a partir de la raza Coastal Tropical Flint y cruzada con líneas de Estados Unidos. Grano color amarillo cristalino.
Diente de Caballo	C ₀ al C ₃	Desarrollado a partir de razas Caribeñas con introgresión de germoplasma procedente de Estados Unidos. Grano color amarillo dentado.

(dds). Se utilizó la escala 0-9, donde 0=ningún daño y 9=planta muerta. Mientras que para *H. zea* se determinó el porcentaje de mazorcas infestadas y calificación de daño por la penetración de la larva hacia la mazorca en centímetros a los 20 días después de la floración y al momento de la cosecha, sólo se reportan datos para esta última. Se realizó el análisis de varianza individual. La diferencia entre tratamientos se determinó mediante el análisis de varianza combinado. Los efectos de época de siembra, tipo de tratamiento, poblaciones y ciclos de selección fueron fijos. Se utilizó diferencia mínima significativa (DMS) al 5% de probabilidad para la comparación de medias y contrastes ortogonales para separar las medias de los tratamientos de los efectos principales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los estimados de los componentes de variación para las características agronómicas y efecto del daño de los insectos en estudio para el análisis combinado se presentan en el Cuadro 2. En general los coeficientes de variación presentan valores estadísticamente adecuados que sugieren buen manejo agronómico y confiabilidad de los resultados.

Días de aparición de la floración femenina.

Para días a floración femenina se observaron diferencias significativas entre época de siembra, población, ciclos de selección e interacción ExP y Px C (Cuadro 2). La comparación de medias de los efectos principales (Cuadro 3) indica que plantas protegidas químicamente comparadas contra plantas infestadas por *S. frugiperda* y *H. zea* no son significativamente diferentes. La floración femenina entre poblaciones fue en promedio de 58 días a excepción de Ohio S10 que obtuvo 57 días. No se detectaron diferencias significativas entre ciclos de selección. SRR no ha influido en el proceso de selección entre poblaciones y ciclos de selección para esta variable.

Altura de la planta y de la mazorca

La altura de la planta y la posición de la mazorca es una característica muy importante en el maíz. Plantas de bajo porte ofrecen mejor oportunidad para intensificar la producción tanto en cultivos asociados como en secuencia, permiten mayor penetración de la luz que plantas de porte alto y resisten mejor el acame. Entre época de siembra, población, ciclos de selección e interacción Px C se encontraron diferencias significativas (Cuadro 2). La comparación de medias para los efectos principales (Cuadro 3), indica que las poblaciones de

maíz con infestación de *S. frugiperda* y *H. zea*, no presentan diferencias significativas y no fueron afectados en relación al testigo (control químico). La comparación entre poblaciones indica que Ohio S9 presenta la menor altura con 210 cm y Diente de Caballo la mayor altura con 232 cm siendo significativamente diferente. Entre ciclos de selección se observó que el último ciclo de selección (C_3) presentó diferencia significativa en relación al ciclo inicial (C_0) tanto para altura de planta como altura de mazorca. La mayor diferencia entre C_0 y C_3 para altura de planta y de mazorca se presentó en la población Diente de Caballo con 18 y 15 cm respectivamente. Ohio S9 no presentó cambios para este carácter (Cuadro 4). La selección influyó negativamente sobre la altura de planta y de mazorca y permitió la obtención de geno tipos de menor altura y mejor posición de mazorca con relación al ciclo inicial. La mejor respuesta se observó en la población Diente de Caballo con 6 cm de reducción de altura por ciclo de selección. Además respondieron las poblaciones Mayorbela y Ohio S10 con tasas de cambio de -5 y -3 cm en altura por ciclo.

Porcentaje de mazorcas podridas y descubiertas

El análisis de varianza (Cuadro 2), indicó diferencias significativas para época de siembra, tipo de tratamiento y población. Los ciclos de selección no influenciaron significativamente a estas variables. La interacción Px C fue significativa sólo para la variable porcentaje mazorcas podridas. Se obtuvo 6 y 24% de mazorcas podridas y descubiertas en la siembra de junio y 4 y 13% en marzo. La comparación de medias de los efectos principales (Cuadro 3) indicó que plantas protegidas químicamente presentaron diferencias significativas con relación a las plantas infestadas por *H. zea*. Se obtuvo 3,4 y 16,3% de mazorcas podridas y descubiertas en plantas protegidas durante todo el ciclo de cultivo. En presencia de *H. zea* el porcentaje de mazorcas podridas y descubiertas fue de 7,5 y 22,1%, respectivamente. Entre poblaciones se observó que Ohio S9 presentó el mayor porcentaje de mazorcas podridas y descubiertas con 7,5 y 21,7% respectivamente, mientras que Mayorbela presentó el menor valor con 2,7 y 15,5%, respectivamente. Los ciclos de selección no influenciaron significativamente el porcentaje de mazorcas podridas y descubiertas. La interacción Px C en el porcentaje de mazorcas podridas (Cuadro 4), estuvo influenciado por cambios en magnitud y dirección entre las poblaciones. Ohio S10 aumenta 3,6% mazorcas podridas, mientras que Mayorbela disminuye el porcentaje de mazorcas podridas en 1,9%.

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para los componentes de variación en los caracteres agronómicos de cuatro poblaciones de maíz. Isabela, P.R. 1993-94.

Fuente de variación	g.l	Días flor Femenina	Altura (cm)		% mazorca		Mazorca/ planta	Rendim. t/ha	Índice de cosecha
			Planta	Mazorcas	Podridas	Descubierta			
Repetición	4	5,92	1073,25	525,33	53,46	207,47	0,006	2432,7	920,08
Epoca (E)	1	48,77*	7680,00*	32670,00**	344,24**	14338,50**	0,007	71258,9**	4607,27*
Error	4	3,86	1002,53	306,07	2,24	211,30	0,040	2113,6	156,57
Tipo Trat. (T)	2	6,03	386,87	208,96	691,46**	1612,16**	0,260**	39906,2**	765,09*
ExT	2	3,10	1700,62	1283,12*	5,57	384,36	0,001	6973,0**	20,62
Error	16	2,56	964,45	386,80	91,30	122,86	0,040	3524,7	57,36
Población (P)	3	7,37**	9851,39**	7455,70**	581,88**	1242,04**	0,270**	10133,0**	259,18*
ExP	3	2,97*	143,89	238,19	11,67	119,23	0,010	3296,7**	57,08
TxP	6	1,36	211,60	173,40	18,69	128,34	0,010	1598,0**	38,68
ExTxP	6	0,90	338,68*	80,07	17,62	63,90	0,007	254,6	27,80
Ciclo (C)	3	2,87*	2527,92**	894,16**	26,68	62,59	0,020	2688,6**	34,29
ExC	3	1,33	50,97	10,00	8,38	55,78	0,020	748,4	17,49
TxC	6	0,42	68,33	87,29	13,39	95,55	0,003	518,4	8,99
ExTxC	6	0,13	80,14	99,80	15,92	42,95	0,001	320,7	6,08
PxC	9	2,83**	639,58**	538,28**	35,44*	51,45	0,040**	856,4*	121,29*
ExPxC	9	1,61	177,45	59,31	6,54	81,19	0,010	365,8	49,65**
TxPxC	18	0,76	169,17	85,99	10,60	86,80	0,010	328,4	17,99
ExTxPxC	18	0,47	193,56	131,74	10,64	54,88	0,008	374,8	20,37
Error	360	0,86	157,52	128,07	14,52	62,21	0,012	435,6	22,96
Total	479								
Media		58,00	220,00	131,00	5,20	18,40	0,99	4200,0	33,33
C.V.%		1,60	5,70	8,70	73,30	42,80	11,00	15,75	14,30

Fuente de Variación	g.l	<i>Helicoverpa zea</i>		<i>Spodoptera frugiperda</i>					
		Penetración (cm)	% mazorca infestadas	% plantas infestadas			Calificación de daño foliar		
				20dds	35dds	50dds	20dds	35dds	50dds
Repetición	4	9,57	736,60	291,67	217,44	1274,52	1,88	2,55	3,27
Epoca (E)	1	104,53**	218,61	1419,84	7029,52**	21340,99**	5,85	3,01	2,00
Error	4	0,87	1140,53	955,12	128,79	2004,40	1,07	5,60	0,67
Tipo Trat.(T)	2	142,74**	26705,06**	107399,76**	128759,88**	107041,68	599,92**	811,71**	878,40**
ExT	2	151,97**	44815,46**	104,95	9447,99**	24475,70**	0,79	9,04*	22,12**
Error	16	7,35	1228,64	512,20	149,52	1700,94	2,20	2,31	3,20
Población (P)	3	9,25**	2185,33**	241,87	224,94	1419,55**	2,32*	0,61	2,72**
ExP	3	1,43	629,40**	374,45*	40,97	63,06	1,01	0,32	0,14
TxP	6	0,81	154,12	184,14	316,83**	947,33**	1,84*	0,75	0,40
ExTxP	6	1,23	41,44	335,07**	16,05	102,62	1,03	0,45	0,07
Ciclo (C)	3	0,09	490,66**	165,36	24,49	72,84	0,79	0,62	0,27
ExC	3	0,53	199,94	124,80	244,96	300,44	1,00	0,60	1,22
TxC	6	1,47	94,49	183,60	33,78	86,90	2,15**	0,33	0,12
ExTxC	6	0,97	157,00	70,66	251,28*	230,49	0,74	0,76	0,60
PxC	9	0,91	97,95	87,43	109,87	41,84	0,80	0,49	0,71
ExPxC	9	0,73	131,18	50,78	47,44	52,87	0,47	0,72	0,11
TxPxC	18	0,66	132,84	82,27	115,02	58,01	1,04	1,26	0,98*
ExTxPxC	18	0,92	129,01	55,95	78,82	48,67	0,58	0,83	0,31
Error	360	0,80	119,55	1005,58	97,08	118,80	0,72	0,84	0,59
Total	479								
Media	58,00	2,70	48,90	19,50	21,30	17,10	2,50	3,10	2,80
C.V.%	1,60	33,41	22,40	52,40	46,30	63,65	34,53	29,87	27,48

E= Época de siembra; T= Tipo de tratamiento químico; P=Población; C=Ciclo de selección.

Calificación daño foliar: 0: Ningún daño 9: Planta muerta.

*, **= Significativo al 5 y 1 % de probabilidad.

Cuadro 3. Promedio de efectos principales para días a floración femenina, altura de la planta y de la mazorca, porcentaje de mazorcas podridas y descubiertas, mazorcas por planta (MP), índice de cosecha (IC) y rendimiento (kg/ha). Penetración (cm) y porcentaje de infestación de larvas de *Helicoverpa zea* (Boddie). Calificación daño foliar y porcentaje de infestación de *Spodoptera frugiperda* (Smith) a los 20, 35 y 50 dds. Isabela P.R. 1993-94.

Efecto principal	Días flor fem.	Altura (cm)		% mazorcas		MP	IC	Rend kg/ha	<i>H. zea</i>		<i>S. frugiperda</i>					
		planta	maz.	pod.	desc.				Pen. (cm)	% infest	% plantas infest.			Califie. daño foliar		
		20dds	35dds	50dds	20dds	35dds	50dds	20dds	35dds	50dds	20dds	35dds	50dds	20dds	35dds	50dds
Control Quím.:																
Protegido	58	222	132	3,4	16,3	1,02	35,2	4716	1,8	35	--	--	--	--	--	--
<i>H. zea</i>	58	220	131	7,5	22,1	0,95	30,1	3715	3,7	61	--	--	--	--	--	--
P<0,05 ^{1/}	ns	ns	ns	**	**	*	**	*	**	**	--	--	n	n	n	--
Protegido	58	222	132	3,4	16,3	1,02	35,2	4716	--	--	4	6	2	1,4	1,7	1,4
<i>S. frugiperda</i>	58	219	130	4,8	16,9	1,02	34,7	4172	--	--	49	54	47	4,7	5,7	5,6
P<0,05^{1/}	os	os	ns	ns	os	ns	ns	*	--	--	**	**	**	**	**	**
Población:																
Ohio S9	58	210	122	7,5	21,7	0,96	33,7	3798	2,9	54	18	21	17	2,4	3,0	2,9
Ohio 510	57	218	127	6,5	20,6	0,99	35,7	4184	2,9	51	19	24	22	2,4	3,0	2,9
Mayorbela	58	221	131	2,7	15,5	1,06	32,8	4366	2,4	45	19	22	15	2,4	3,1	2,8
Diente Caballo	58	232	141	4,2	15,9	0,97	31,9	4453	2,5	46	21	21	15	2,7	3,0	2,7
DMS P<0,05^{2/}	0,2	3,0	3,0	0,9	2,0	0,02	1,6	145	0,20	2,8	ns	2,5	2,5	0,2	ns	0,2
Ciclo:																
C0	58	226	134	5,6	17,7	0,98	32,6	3994	2,7	50	19	22	17	2,4	3,0	2,8
C1	58	220	130	4,8	18,2	1,00	33,8	4260	2,7	50	18	22	18	2,4	3,1	2,8
C2	58	221	130	4,8	18,5	0,98	32,8	4345	2,7	46	21	22	17	2,6	3,1	2,9
C3	58	214	128	5,6	19,4	1,00	34,0	4202	2,7	50	19	22	16	2,4	3,0	2,8
DMS P<0,05^{2/}	ns	3,0	3,0	0,9	2,0	0,02	1,6	168	0,20	2	2,5	2,5	2,7	0,21	0,20	0,20

^{1/} Contraste ortogonal: plantas protegidas *vs* plantas afectadas por insecto.

^{2/} DMS: diferencia mínima significativa a 15% de probabilidad.

ns, * y **: no significativo, significativo al 5 y 1 %, respectivamente.

Mazorcas por planta (MP)

El tipo de tratamiento, población y la interacción PxC (Cuadro 2) afectaron significativamente el número de mazorcas por planta. La comparación de medias de los efectos principales (Cuadro 3) indica que el tipo de tratamiento afectó significativamente a MP. Se cosecharon 1,02 mazorcas/planta de parcelas protegidas químicamente y 0,95 mazorcas/planta en plantas infestadas con *H. zea*. Las larvas de *H. zea* aparecen durante la fase inicial de la floración femenina y pueden afectar el crecimiento de la mazorca y hasta producir el daño total. Entre poblaciones se observó que Mayorbela presentó 1,06 mazorcas/planta mientras que Ohio S9 tuvo el menor índice con 0,96 mazorcas/planta. Los datos sugieren que la producción de mazorcas por planta no es uniforme entre poblaciones. Los ciclos de selección no afectaron significativamente el número de MP. La interacción PxC está influenciada por cambios de dirección en las poblaciones a través de ciclos de selección. Ohio S9 pierde 0,03 MP, mientras que Mayorbela incrementa 0,06 MP (Cuadro 4).

Índice de cosecha (IC)

El índice de cosecha (IC) presentó diferencias significativas entre época de siembra, tipo de tratamiento y poblaciones (Cuadro 2). Las interacciones PxC y ExPxC son significativas. La comparación de medias de los efectos principales (Cuadro 3), indica que tipo de tratamiento afectó significativamente al IC. El IC con control químico fue 35,2% mientras que en plantas infestadas por *H. zea* y *S. frugiperda* presentaron 30,1 y 34,7% respectivamente. El menor IC en presencia de *H. zea* está asociado al tipo de daño. El insecto se alimenta directamente de la mazorca y causa daño al grano y pérdidas en rendimiento. Por el contrario *S. frugiperda* afecta el rendimiento en forma indirecta, mediante defoliación. Entre poblaciones, Ohio S 10 presentó el mejor IC con 35,7% y Diente de Caballo el menor con 31,1 %. Estos datos se relacionan con mayor producción de rastrojo que presenta Diente de Caballo y por la mayor altura de planta comparado con las restantes poblaciones. No se detectaron diferencias significativas entre ciclos de selección. La interacción PxC está

Cuadro 4. Promedio de días a floración masculina y femenina, altura de la planta y de la mazorca, porcentaje de mazorcas podridas y descubiertas, mazorcas por planta (MP), índice de cosecha (IC) y rendimiento en cuatro ciclos de selección para la interacción Pxc. Isabela, P.R. 1993-94.

Ciclo	Días flor femenin	Altura (cm)		% mazorcas		MP	IC	Rend. kg/ha	
		Planta	mazorca	podridas	descub.				
Ohio S9	C0	58	208	120	8,5	21,4	0,96	32,1	3.507
	C1	58	215	127	7,2	22,4	0,99	32,4	3.960
	C2	58	207	121	7,3	20,9	0,95	33,8	3.830
	C3	58	208	122	7,1	22,1	0,93	36,4	3.896
	\bar{X}	58	210	122	7,5	21,7	0,96	33,7	3.798
Ohio S 10	C0	58	224	128	5,3	21,1	1,02	39,6	4.080
	C1	58	217	127	5,8	19,3	0,99	33,6	4.309
	C2	58	219	128	5,9	21,5	0,98	34,7	4.233
	C3	57	214	126	8,9	20,6	0,96	34,8	4.112
	\bar{X}	57	218	127	6,5	20,6	0,99	35,7	4.184
Mayorbela	C0	58	229	139	3,8	15,4	1,04	31,9	4.384
	C1	58	215	127	2,7	14,9	1,03	34,9	4.270
	C2	58	225	132	2,2	15,1	1,07	32,0	4.573
	C3	58	213	128	1,9	16,5	1,10	32,5	4.237
	\bar{X}	58	221	131	2,7	15,5	1,06	32,8	4.366
Diente de Caballo	C0	59	241	151	4,9	12,8	0,90	27,0	4.005
	C1	58	232	138	3,4	16,0	1,01	34,2	4.500
	C2	58	230	139	3,9	16,3	0,99	30,8	4.746
	C3	58	223	136	4,4	18,4	0,98	32,5	4.202
	\bar{X}	58	232	141	4,2	15,9	0,97	31,9	4.453
DMS /Ciclo	0,2	3,0	3,0	0,9	2,0	0,02	1,6	168	
DMS /población	0,2	3,0	3,0	1,0	2,0	0,02	1,6	145	
DMS PxC	0,5	6,0	6,0	1,9	ns	0,05	3,2	335	

DMS: Diferencia mínima significativa al 5% de probabilidad.

influenciada por cambios en magnitud y dirección entre las poblaciones (Cuadro 4). El IC a través de ciclos de selección en Diente de Caballo se incrementó en 5,5%, mientras que Ohio S10 disminuyó 5,2%. La significancia en la interacción ExPxC se asocia con época de siembra que influenció altura de planta y disminuyó la biomasa total.

Rendimiento

Los efectos principales, época de siembra, tipo de tratamiento, población y ciclos de selección así como las interacciones ExP, TxP y PxC presentan significancia estadística (Cuadro 2). La siembra de junio produjo mayor rendimiento (4.686 kg/ha) que la siembra de

marzo (3.815 kg/ha). La diferencia del 19% se puede asociar a la interacción genotipo-ambiente (ExP) que fue significativa. La comparación de medias de efectos principales (Cuadro 3) indica que plantas protegidas con relación a plantas infestadas por *H. zea* y *S. frugiperda* son significativas. Plantas protegidas químicamente rindieron 4.716 kg/ha, mientras que plantas atacadas por *H. zea* y *S. frugiperda* rindieron 3.715 y 4.172 kg/ha que equivale a una reducción en rendimiento de 21 y 12%, respectivamente. La población Diente de Caballo presentó el mayor rendimiento con 4.453 kg/ha. Ohio S9 presentó el menor rendimiento con 3.798 kg/ha. En general los ciclos de selección presentan diferencias en rendimiento en relación al ciclo inicial (C0). La ganancia de selección de las pobla-

ciones con protección química durante el ciclo de cultivo (Cuadro 5) fue entre 1,2 y 4,5% por ciclo de selección (88 y 199 kg/ha). La excepción fue Mayorbela que pre-sentó un índice negativo (-0,9%). La baja en rendimiento puede estar asociada a discrepancias en el proceso e intensidad de selección y a variabilidad genética en la población.

Efecto de la infestación de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)

El análisis de varianza para plantas afectadas por *S. frugiperda* a los 20, 35 y 50 días después de la siembra (Cuadro 2) indica que la calificación de daño foliar fue significativa para el efecto principal, tipo de tratamiento, población e interacciones ExT, TxP y TxPxC. El porcentaje de plantas infestadas a los 20, 35 y 50 dds fue significativo entre época de siembra, tipo de tratamiento, población y la interacción ExT y TxP. Estas diferencias son esperadas debido al efecto del tipo de control en el cual se tienen tratamientos con y sin control químico. Entre poblaciones el porcentaje de infestación es significativo e indica que a los 50 días después de la siembra alguna población presenta mayor daño que otra. Los ciclos de selección no son significativos e in-

dica que la infestación fue uniforme. La comparación de medias de efectos principales (Cuadro 3) indica que plantas protegidas químicamente con relación al porcentaje de infestación y calificación de daño foliar por *S. frugiperda* es significativa. Entre población, se presenta diferencia significativa en el porcentaje de plantas infestadas a los 50 días después de la siembra y en calificación de daño foliar a los 20 y 50 dds. Ohio 89 tuvo la mayor infestación a los 50 dds (17%) y Diente de Caballo la menor (15%). La mayor calificación foliar ocurre en Ohio 89 (2,9) y la menor en Diente de Caballo (2,7). No se detectaron diferencias significativas entre ciclos de selección. La infestación de *S. frugiperda* en parcelas no tratadas varió entre 47-54% y calificación de daño foliar entre 4,7 y 5,7. Peairs (1980) y King; Saunders (1984) indican un umbral de acción por *S. frugiperda* de 20% de plantas infestadas durante los primeros 60 días de crecimiento vegetativo. Ohio 89 fue el cultivar más afectado por *S. frugiperda* con una pérdida de 21 % en relación al control químico. La menor reducción en rendimiento ocurrió en Diente de Caballo con solo 3% de pérdida (Cuadro 6). Las cuatro poblaciones presentan correlación negativa y significativa (r entre -0,41 y -0,66) entre la calificación de daño foliar a los 50 dds y el rendimiento. Valores similares fueron

Cuadro 5. Media de la ganancia en rendimiento (kg./ha) entre ciclos de selección de cuatro poblaciones de maíz bajo condiciones de control químico, infestación de *Helicoverpa zea* (Boddie) y *Spodoptera frugiperda* (Smith).

Población	Ciclo				Media	Ganancia Total	X por ciclo (%)	Ganancia %
	0	1	2	3				
Control químico:								
Ohio 89	4.234	4.923	4.522	4.499	4.545	265	6,3	2,1
Ohio 810	4.623	5.010	4.870	4.792	4.824	169	3,7	1,2
Mayorbela	4.738	4.673	4.793	4.615	4.706	-123	-2,9	-0,9
Diente Caballo	4.441	4.688	4.949	5.037	4.778	596	13,4	4,5
<i>Helicoverpa zea</i>								
Ohio 89	2.811	3.481	3.331	3.457	3.270	646	23,0	7,7
Ohio 810	3.734	3.807	3.822	3.384	3.687	-350	-9,4	-3,1
Mayorbela	3.902	3.744	4.358	3.747	3.938	-155	-4,0	-1,3
Diente Caballo	3.210	4.386	4.373	3.899	3.967	689	21,5	7,2
<i>Spodoptera frugiperda</i>								
Ohio 89	3.476	3.475	3.635	3.733	3.580	257	7,4	2,5
Ohio 810	3.884	4.109	4.007	4.160	4.040	276	7,1	2,4
Mayorbela	4.511	4.390	4.567	4.348	4.454	-163	-3,6	-1,2
Diente Caballo	4.363	4.427	4.917	4.748	4.614	385	8,8	2,9

DMS entre población: 205 kg.

DMS dentro población: 581 kg.

informados por Peairs; Saunders (1981) para Tuxpeño 1. El daño a los 50 días puede tener un mayor efecto sobre el rendimiento que daño o defoliación temprana en el crecimiento de la planta. El porcentaje de infestación a los 50 días después de la siembra correlaciona negativa y significativamente con el rendimiento (r entre -0,54 y -0,73). El rendimiento de los ciclos de selección con infestación de *S. frugiperda* (Cuadro 5) indica que las poblaciones expresan ganancias por ciclo de 92 y 128 kg/ha (2,4 y 2,9%). La excepción fue Mayorbela que presentó un índice negativo -163 kg/ha (-1,2%).

Efecto de la infestación de *Helicoverpa zea* (Boddie)

El análisis de varianza de penetración de la larva hacia la mazorca (cm) y el porcentaje de mazorcas infestadas se presenta en el Cuadro 2. La penetración de la larva (cm) fue significativa en época de siembra, tipo de tratamiento, población e interacción ExT. La interacción se asocia al efecto que causa la época de siembra y el tipo de daño debido a la diferencia entre plantas protegidas e infestadas por *H. zea*. La comparación de medias de efectos principales (Cuadro 3) entre plantas protegidas químicamente y atacadas por *H. zea* es significativa para las variables penetración de la larva (cm) y porcentaje de infestación. En plantas protegidas la penetración es de 1,8 cm, mientras que en plantas infestadas por *H. zea* es de 3,7 cm. El porcentaje de mazorcas infestadas por *H. zea* fue 61 % y con control químico 35%. Entre poblaciones existió diferencia significativa por penetración de la larva y en el porcentaje de mazorcas infestadas. Mayorbela presentó el menor daño por penetración de la larva con 2,4 cm y Ohio 89 el mayor daño con 2,9 cm. El menor porcentaje de mazorcas infestadas ocurre en Mayorbela (45%) y el mayor en Ohio 89 (54%). Entre ciclos de selección solo existió diferencia significativa en el porcentaje de mazorcas infestadas. La infestación y penetración de larvas de *H. zea* hacia la mazorca en parcelas no tratadas

varió en 54-67% y 3,2-4 cm, respectivamente. La pérdida en rendimiento por *H. zea* fue mayor en Ohio 89 (28%) y menor en Mayorbela (16%) (Cuadro 6). El porcentaje de mazorcas descubiertas es el factor agronómico que más influye en incrementar el daño por *H. zea*. Correlaciona significativamente con el porcentaje de infestación (Cuadro 7). Los coeficientes de correlación (r) varían entre 0,36 para Ohio 89 y 0,57 en Mayorbela. El porcentaje de mazorcas descubiertas correlaciona significativamente con la penetración de la larva excepto en la población Ohio 89. (r entre 0,35 a 0,61). Entre rendimiento y el porcentaje de mazorcas infestadas a la cosecha, la correlación fue significativa (r entre -0,32 y -0,59). El rendimiento de los ciclos de selección con infestación de *H. zea* (Cuadro 5) indica que las poblaciones Ohio 89 y Diente de Caballo expresan ganancias por ciclo de 215 y 330 kg/ha (7,6 y 7,2%). Ohio 810 y Mayorbela presentan ganancia negativa de 117 y 52 kg/ha (-3,1 y -1,3%), respectivamente.

La selección recurrente recíproca contribuye a obtener genotipos de maíz con menor altura de la planta y mejor posición de la mazorca. Los cambios unitarios en altura de planta por ciclo de selección fueron de -3 y -5 cm para Ohio 810, Mayorbela y Diente de Caballo y -4 y -5 cm para altura de la mazorca en Mayorbela y Diente de Caballo, respectivamente.

La ganancia en rendimiento por ciclo de selección fue de 199 kg/ha (4,5%) en Diente de Caballo y 56 y 88 kg/ha (1,2 y 2,1 %) en Ohio 89 y Ohio 810. Diente de Caballo y Mayorbela presentaron el mayor rendimiento con 4.453 y 4.366 kg/ha y Ohio 89 el menor rendimiento con 3.798 kg/ha.

El porcentaje de mazorcas descubiertas es el principal factor que afecta negativamente al rendimiento. Facilita la infestación de *H. zea* hacia la mazorca y contribuye al deterioro del grano. El mejoramiento pobla-

Cuadro 6. Comparación entre medias de rendimiento (kg/ha) y porcentaje de pérdida en poblaciones de maíz protegidas, químicamente y atacadas por *Helicoverpa zea* (Boddie) y *Spodoptera frugiperda* (Smith). Isabela, P.R. 1993-94.

Población	Rendimiento kg/ha			
	Protegido	<i>H. zea</i>	% pérdida <i>S. frugiperda</i>	% pérdida
Ohio 89	4.545	3.270	28	3.580
Ohio 810	4.824	3.687	24	4.040
Mayorbela	4.706	3.938	16	4.454
Diente Caballo	4.778	3.967	17	4.614

DMS dentro de población: 205 kg.

DMS: Diferencia mínima significativa al 5% de probabilidad.

Cuadro 7. Correlaciones entre componentes del rendimiento en cuatro poblaciones de maíz, 50 días después de la siembra bajo condiciones de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) y al momento de la cosecha bajo condiciones de *Helicoverpa zea* (Boddie). Isabela, P.R. 1993-94.

Correlación	r			
	Ohio S9	Ohio S10	Mayorbela	Diente Caballo
<i>Spodoptera frugiperda</i>				
Rendimiento: Daño foliar	-0,43**	-0,43**	-0,50**	-0,41 **
Rendimiento: % plantas infestadas	0,63**	0,63**	-0,73**	-0,54**
<i>Helicoverpa zea</i>				
% mazor. infestadas: % mazorcas descubiertas	0,36**	0,54**	0,57**	0,46**
Penetración (cm): % mazorcas descubierta	0,21	0,61 **	0,38**	0,35**
Rendimiento: % mazorcas infestadas	-0,59**	-0,59**	-0,32**	-0,36**
Rendimiento: Penetración (cm)	-0,48**	-0,56**	-0,53**	-0,36**

** : Significativo al % de probabilidad.

cional no ha influido positivamente en la selección para esta variable ni los días para la floración femenina y en los componentes del rendimiento mazorcas/planta e índice de cosecha.

La mayor pérdida en rendimiento causado por *H. zea* ocurrió en Ohio S9 con 1.275 kg (28%) y la menor en Mayorbela con 768 kg (16%). Para *S. frugiperda* la mayor pérdida fue en Ohio S9 con 965 kg (21 %) y la menor en Diente de Caballo con 164 kg (3%).

La calificación de daño foliar a los 50 dds causado por *S. frugiperda* influyó negativamente en el rendimiento. Así mismo el porcentaje de mazorca descubierta aumenta la infestación y penetración de larvas de *H. zea* hacia la mazorca y presentan correlación significativa entre las poblaciones.

LITERATURA CITADA

- EBERHART, S. A.; DEBELA S.; HALLAUER A. R. 1973. Reciprocal recurrent selection in BSSS and BSCB 1 maize populations and half-sib selection in BSSS. *Crop Science* 13:451-456.
- FALCONER, D.S. 1964. *Quantitative genetics*. Ronald Press Company. New York. 365 p.
- FIGUEROA, E. 1983. Ciclo de vida y enemigos naturales de *Heliothis zea* (Boddie) Lepidoptera: Noctuidae en Puerto Rico. Tesis de M. S. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, Departamento de Protección de Cultivos. 109 p.
- HRUSKA, A.; GLADSTONE S. M. 1988. Effect of period and level of infestation of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, on irrigated maize yield. *Florida Entomol.* 71(3):249-254.
- KEERATINIJAKAL, V.; LAMKEY K. R. 1993. Responses to reciprocal recurrent selection in BSSS and BSCB1 maize populations. *Crop Science.* 33:73-77.
- KING, A.; SAUNDERS J. L. 1984. Las plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios en América Central. *In: Manejo integrado de plagas insectiles en la agricultura: Estado actual y futuro.* Keith Andrews y José Rutilio Quezada (Editores). Departamento de Protección Vegetal. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano. Honduras. 623 p.
- MARTIN, J.M.; HALLAUER A. R. 1980. Seven cycles of reciprocal recurrent selection in BSSS maize populations. *Crop Science.* 20:599-603.
- MIHM, J.A.; SMITH M. E.; DEUTSCH J. A. 1988. Development of open-pollinated varieties, non-conventional hybrids and inbred lines of tropical maize with resistance to fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), at CIMMYT. *Florida Entomol.* 71(3):262-268.
- ORTEGA, A.; DE LEON C. 1974. Maize insects and diseases *In: Proc. Symp. on world-wide maize improvement in the 70's and the role of CIMMYT.* El Batán, México. 327 p.
- ORTEGA, A.; VAS AL S. K.; MIHM J. A.; HERSHEY C. 1980. Breeding for insect resistance in maize. *In Toward insect resistant maize for the third world: Proceedings of the International Symposium on Methodologies for Developing host plant resistance to maize insects.* CIMMYT, El Batán, Mexico. 327 p.
- PEAIRS, EB. 1980. Principales plagas de los granos básicos. *In Manejo integrado de plagas insectiles en la agricultura*

- tura. Estado actual y futuro. Keith Andrews y José Rutilio Quezada (Editores). Departamento de Protección Vegetal. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Honduras. 623 p.
- PEAIRS, F. B.; SAUNDERS J. L. 1981. Plant damage and yield response to *Diatraea saccharalis* and *Spodoptera frugiperda*. In selection cycles of two tropical maize populations in Mexico. Turrialba 31(1):1-93.
- PENNY, L.H.; EBERHART S.A. 1971. Twenty years of reciprocal recurrent selection with two synthetic varieties of maize (*Zea mays* L.). Crop Science 11:900-903.
- POLLAK, L. M.; TORRES C. S.; SOTOMAYOR R A. 1991. Evaluation of heterotic patterns among caribbean and tropical x temperate maize populations. Crop Science. 31:1480-1483.
- POEHLMAN, IM. 1986. Breeding field crops. Third edition. An AVI Book, New York. 724 p.
- QUILES, A. 1983. Respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada ya densidades poblacionales en dos localidades de Puerto Rico. Tesis de M.S. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, Departamento de Agronomía y Suelos. 96 p.
- ROGERS, C.E. 1989. Management of maize insects with resistant cultivars in the southern region of the United States. In Toward insect resistant maize for the third world: Proceedings of the International Symposium on methodologies for developing host plant resistance to maize insects. CIMMYT, El Batán, México. 327 p.
- SPARKS, A.N. 1986. Fall armyworm Lepidoptera (Noctuidae): Potential for area-wide management. Florida Entomol. 69:603-614.
- STINNER, R E.; RABB R L.; BRADLEY J. R, JR 1977. Natural factor operating in the population dynamics of *Heliothis zea* in North Carolina. In Proceedings XV International Congress of Entomology, Washington, D.e.
- USDA, 1993. National agricultural statistics service. Agricultural Statistics. Washington. 517 p.
- WEBSTER O.; WALKER D. 1977. A field test of com cultivars for insect and disease resistance. Journal of Agriculture, University of Puerto Rico. 61 (3):319-325.
- WIDSTROM N. w.; BONDARI K.; MCMILLIAN W. W. 1992. Hybrid performance among maize populations selected for resistance to insects. Crop Science 32:85-89.
- WISEMAN, B.R 1989. Technological advances for determining resistance in maize to *Heliothis zea*. In Toward insect resistant maize for the third world: Proceedings of the International Symposium on Methodologies for Developing host plant resistance to maize insects. CIMMYT, El Batán, México. 327 p.
- WISEMAN B. R; WASSOM e. E.; PAINTER R H. 1967. An unusual feeding habit to measure differences in damage to 81 Latin American lines by the fall armyworm. Agron. J. 59:279-281.
- WISEMAN B. R; WIDSTROM N. M W.W. MCMILLIAM. 1981. Influence of com silks on com earworm feeding response. Florida Entomol. 64(3):395-399.