

DESARROLLO PARTICIPATIVO DE HÍBRIDOS SINTÉTICOS DE MAÍZ Y PRODUCCIÓN DE SEMILLA POR AGRICULTORES*

PARTICIPATORY DEVELOPMENT OF MAIZE SYNTHETIC HYBRIDS AND SEED PRODUCTION BY FARMERS

Roberto Valdivia Bernal^{1§}, Francisco de Jesús Caro Velarde¹, Margarito Ortiz Catón¹, Alberto Betancourt Vallejo¹, Alejandro Ortega Corona², Víctor Antonio Vidal Martínez³ y Alejandro Espinosa Calderón⁴

¹Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela Km. 9. 63780 Xalisco, Nayarit, México. ²Campo Experimental Valle del Yaqui, INIFAP. ³Campo Experimental Santiago Ixcuintla, INIFAP. ⁴Campo Experimental Valle de México, INIFAP. [§]Autor para correspondencia: beto49_2000@yahoo.com.mx

RESUMEN

Un grupo de agricultores de la región productora de maíz del municipio de Santa María del Oro, Nayarit, México, aplicó el modelo productor-experimentador (P-E) para desarrollar semilla híbrida de maíz para auto abasto y reducir costos de producción. El modelo P-E es un proceso participativo entre productor e investigador, en el que se realiza investigación, transferencia de tecnología y adopción. Las actividades se llevaron a cabo de 1996-2000 en la comunidad de Buckingham y otras aledañas. En 1996 los productores sembraron diez híbridos comerciales de maíz para compararlos con dos híbridos sintéticos obtenidos de cruces entre híbridos comerciales F_1 . Las características agronómicas superiores de los híbridos sintéticos y su alto rendimiento motivo a los agricultores a producir ocho nuevos híbridos sintéticos a partir de cruzamientos entre los híbridos comerciales: HV-313, D-880, C-385 en F_2 , P-3028, A-7573, D-867 y Ciclón. Los productores seleccionaron un nuevo híbrido al que denominaron B-2002, cuyo rendimiento fue similar al de los híbridos comerciales cultivados en la región: P-3028, A-7573 y H-359; por lo que la semilla del B-2002 tuvo una creciente demanda. En 1998, 1999 y 2000 se sembraron 1000, 1500 y 3500 ha, respectivamente. La aplicación del modelo productor-experimentador demostró que, con asesoría del investigador, los productores están aptos para desarrollar híbridos sintéticos de maíz a partir de

híbridos comerciales y producir su propia semilla a un menor costo en comparación con la de híbridos comerciales.

Palabras clave: *Zea mays* L., experimento en franjas, generaciones avanzadas, mejoramiento participativo, productor-experimentador.

ABSTRACT

The model 'Farmer-Researcher' (F-R) was applied by a group of farmers in Santa María del Oro, Nayarit, Mexico with the aim of developing their own maize hybrids and its seed production, in order to reduce production costs. The F-R model is a participatory process between farmers and researchers that involves research, technology transfer and adoption activities. The model was applied during 1996-2000 at Buckingham and neighborhood communities. In 1996, the farmers compared 10 commercial maize hybrids with two synthetic hybrids obtained from crosses between commercial F_1 hybrids. The agronomic characteristics and yield shown by the synthetic hybrids convinced the farmers to form eight new synthetic hybrids from crosses among the commercial hybrids: HV-313, D-880, C-385 in the generation F_2 , P-3028, A-7573, D-867 and Ciclón.

* Recibido: Enero de 2006
Aceptado: Julio de 2007

The farmers selected one hybrid and named it B-2002. The performance of B-2002 was similar to the best commercial hybrids sown at the region: P-3028, A-7573 and H-359; therefore, the seed of B-2002, produced by farmers, had an increasing demand. In 1998, 1999 and 2000, B-2002 was used in 1000, 1500 and 3500 ha, respectively. The application of the farmer-researcher model demonstrated that farmers, advised by a researcher, were able to develop maize hybrids and to produce their own seed at a lower cost than the commercial hybrid seed.

Key words: *Zea mays* L., advanced generations, farmer-researcher, on farm strip trials, participatory plant breeding.

INTRODUCCIÓN

En el estado de Nayarit se cultivan alrededor de 60 000 ha de maíz al año. Se estima que la mayoría se siembra con semilla certificada (Valdivia *et al.*, 2000). Sin embargo, la Asociación Mexicana de Semilleros, A. C. (AMSAC) informó que en este estado se vende semilla híbrida de maíz para 30 000 ha, el resto de la superficie, que representa hasta 50%, se siembra con variedades mejoradas de polinización libre y diversos tipos de generaciones avanzadas de híbridos comerciales F_2 (Valdivia y Vidal, 1995). El uso de semilla F_2 reduce en más de 20% el rendimiento en comparación con la F_1 (Ramírez *et al.*, 1986; Espinosa *et al.*, 2005); no obstante, los productores siguen sembrándola principalmente por los altos costos de la semilla certificada.

Actualmente los productores siembran híbridos simples y trilineales de maíz que, cultivados con dosis adecuadas de fertilizantes y aplicación de agroquímicos para el control de plagas y maleza, les permite obtener altos rendimientos y afrontar problemas de rentabilidad del cultivo. Sin embargo, el uso de híbridos causa dependencia tecnológica y la pérdida gradual de la cultura de trabajo del agricultor, ya que la participación de éste en el desarrollo, evaluación y adopción de tecnologías adecuadas a su sistema de producción es limitada.

Ante esta problemática, se requieren nuevos modelos de producción orientados hacia una agricultura sustentable y alternativas de abastecimiento de semillas. Es necesario que el agricultor se involucre en el proceso de producción que le permita tomar decisiones en la definición de las tecnologías adecuadas para su sistema de producción y para el desarrollo

de sus insumos. Un modelo apropiado a esta realidad es el denominado productor-experimentador (Valdivia *et al.*, 2000).

De acuerdo con Villarreal (2001), el desarrollo del modelo productor-experimentador (P-E) es el resultado de un largo proceso de investigación-acción, tendiente a dar respuesta a un problema que, por primera vez, se planteó en 1974 al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), antecesor del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en relación a la transferencia y adopción de tecnología. En los primeros trabajos de diagnóstico socioeconómico, realizados a través del Centro de Investigaciones Agrícolas de Tamaulipas (CIAT), se observó que en todas las regiones agrícolas de Nuevo León y Tamaulipas existían agricultores y ganaderos que obtenían el doble de rendimiento promedio de la región. A esta diferencia en productividad se le asignó el nombre de "Oportunidad de Investigación", a la cual se considera precursora del modelo P-E, mismo que ha evolucionado en su supuesto a medida que se conoce mejor el proceso de transferencia de tecnología. En 1974 la hipótesis inicial fue: "el INIA cuenta con la tecnología para duplicar la producción nacional de alimentos en la superficie agrícola actual; lo único que hacía falta es desarrollar un método efectivo para que esta tecnología llegue a los agricultores". A los trabajos realizados en 1978 por el INIA sobre este tema se les denominó "investigación en transferencia de tecnología".

El modelo P-E es una estrategia alternativa para transferir tecnología a los pequeños productores (Villarreal, 2001). Se fundamenta en la participación individual y comunitaria en la toma de decisiones durante el desarrollo de las actividades de investigación y transferencia tecnológica, a través de una comunicación de productor a productor. El éxito de este modelo depende de la capacidad y voluntad del técnico extensionista (o investigador) para asociarse con productores y lograr la participación de los hijos de éstos en la toma de datos. Una ventaja evidente del modelo P-E, respecto al modelo convencional de transferencia de tecnología, es que se trata de un procedimiento que estimula al productor para formarse como experimentador empírico; además establece el compromiso de los participantes (técnico o investigador y productores) de trabajar conjuntamente por la comunidad, es decir, por el bien común más que para el beneficio individual. El proceso y forma de trabajo es de aprendizaje práctico y teórico para ambos, todos aprenden en el trabajo y para el trabajo.

El modelo P-E es un tipo de investigación participativa que se ha aplicado en diversos sistemas de producción y en diferentes cultivos agrícolas. La investigación participativa incorpora la dimensión sociocultural del conocimiento, así como las experiencias locales. Durante el proceso de generación de tecnologías involucra disciplinas científicas-sociales que inducen al investigador a reflexionar y a centrar la atención en la práctica participativa de las poblaciones beneficiarias.

El área de mayor impacto en la investigación participativa comprende el mejoramiento genético de plantas cultivadas. Con este modelo se han obtenido resultados y éxitos en todo el mundo. En México se tienen experiencias con maíz en Oaxaca (Smale *et al.*, 2003); en Ecuador con el cultivo de papa (INIAP, 2001); en México y Honduras en maíz (Smith *et al.*, 2006), lo mismo que en Brasil (Toledo-Machado, 2006) y en India (Witcombe *et al.*, 2006), Portugal (Moreira, 2006) y Nepal (Tiwari *et al.*, 2004). En países como Siria, Marruecos y Túnez el modelo ha arrojado resultados positivos en el cultivo de cebada (Ceccareli *et al.*, 2001).

La semilla híbrida de maíz, factible de ser producida por los agricultores, es la cruce entre híbridos comerciales de grano (González *et al.*, 1993; Valdivia y Vidal, 1994; Villanueva *et al.*, 1994). Por ello, el objetivo de esta investigación fue aplicar el modelo P-E para desarrollar híbridos de maíz a partir de híbridos comerciales y producir semilla para auto abasto.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la comunidad de Buckingham, Santa María del Oro, Nayarit, en suelos Luvisol crómico y Luvisol vertisol; altitud de 500 a 1200 msnm y precipitación media de 900 mm anuales; clima tropical con transición a subtropical.

Se aplicó el modelo productor-experimentador en el contexto de un programa integral de investigación y desarrollo. El modelo se basó en la relación afectiva establecida entre el técnico (investigador) y un grupo de 16 productores que formaron un Comité Técnico, elegido en asamblea. La elección se efectuó entre los agricultores que mostraron “preferencia” por la innovación tecnológica, con liderazgo y capacidad para difundir el conocimiento entre el resto de los agricultores de la comunidad. La mayoría de los productores de maíz de la región tienen pequeñas unidades

de producción, de cinco ha en promedio; y se dedican a la producción comercial de grano, no son de autoconsumo. El programa incluyó siete proyectos de investigación. Uno de ellos fue llamado “genotipo x ambiente”. El objetivo de este proyecto fue comparar los nueve híbridos comerciales que se siembran en la comunidad. En este proyecto participaron la mayoría de los 16 agricultores del Comité Técnico.

Para el desarrollo del proyecto genotipo x ambiente, durante 1996, se preparó un ensayo con 10 híbridos comerciales de maíz y los híbridos sintéticos, B-840 x C-343 y B-840 x A-7559, en combinaciones F_1 x F_1 , de calidad genética demostrada (Valdivia y Vidal, 1998), formados por el cruzamiento de dos híbridos dobles comerciales en F_1 y el trilineal C-343, que integran más de seis líneas endogámicas progenitoras, razón por la cual fueron considerados híbridos sintéticos. El propósito de incluir híbridos sintéticos fue que los agricultores observaran la calidad genética de este tipo de materiales, aunque ya no fuera posible reproducirlos debido a que sus progenitores ya no se encuentran en el mercado. El ensayo se estableció en cinco parcelas de agricultores participantes, donde se sembraron los doce genotipos en franjas (Yan *et al.*, 2002), con número de surcos que varió de 4 a 12, con longitud de 30 m como mínimo. En cada franja se marcaron tres bloques de 10 m considerados como repeticiones, el rendimiento se evaluó en los dos surcos centrales de 5 m. Los datos de rendimiento en las cinco parcelas fueron analizados como un diseño combinado de bloques completos al azar con tres repeticiones.

De acuerdo con el modelo P-E, la responsabilidad de los productores fue desarrollar el experimento en su predio; la del investigador, impartir la capacitación inherente al manejo, toma de datos y análisis de cada experimento y la presentación de resultados. La selección de los mejores genotipos se realizó con la participación de los productores mediante una serie de observaciones y datos que se tomaron durante el ciclo del cultivo, que se les mostraron en forma gráfica para su fácil comprensión. La capacitación se realizó en el transcurso de las actividades de preparación y siembra de semilla, toma de datos y cosecha y fue apoyada con sesiones semanales o quincenales de intercambio.

En el ciclo otoño-invierno 1997-1998 los agricultores produjeron semilla, bajo condiciones de riego, de ocho híbridos sintéticos a partir de combinaciones entre híbridos comerciales: HV-313, D-880, C-385 en F_1 , y P-3028, A-7573, D-867 y Ciclón, en F_2 . En la producción de estos híbridos sintéticos también participaron agricultores de

comunidades cercanas, de esta manera los agricultores de Buckingham produjeron semilla de cuatro híbridos, los de San José de Mojarra tres y los de Miguel Hidalgo uno. Los productores decidieron identificarlos con las claves B-2001 a B-2008. La capacitación para la producción de semilla estuvo a cargo del técnico investigador, quien contó con la colaboración de un despacho técnico de agrónomos y el financiamiento por parte de la Caja Solidaria de Ahorro de Santa María del Oro, Nayarit.

En el ciclo primavera-verano 1998 se sembraron parcelas demostrativas con los ocho híbridos sintéticos en condiciones de temporal, en superficies de 2-10 ha en las comunidades de Buckingham, San José de Mojarra y Miguel Hidalgo. Se realizaron demostraciones en algunas parcelas en las que los agricultores presentaron resultados haciendo énfasis en los procedimientos de experimentación y producción de semilla. Simultáneamente, los ocho híbridos sintéticos y cinco de los progenitores fueron evaluados en franjas, en cuatro parcelas de la comunidad de Buckingham y tres de la comunidad de San José de Mojarra (SJM), bajo la responsabilidad de sus propietarios. En la evaluación en franjas el porcentaje de heterosis se estimó a partir del rendimiento promedio de los progenitores (HPP) y del mejor progenitor (HMP), de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$\text{HPP} = (F/PP) \times 100 \quad \text{y} \quad \text{HMP} = (F/MP) \times 100$$

donde:

F= rendimiento de la cruz en F_1

PP= rendimiento promedio de dos híbridos progenitores F_1 involucrados en la cruz y

MP= rendimiento del mejor híbrido progenitor F_1 involucrado en la cruz.

La producción invernal de semilla para su evaluación en verano continuó en los dos años siguientes (1999 y 2000). Lo anterior permitió seleccionar los híbridos sintéticos adecuados para auto abasto de las comunidades participantes. En el último año los agricultores de Buckingham fueron apoyados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Naturales, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Secretaría de Desarrollo Rural del estado de Nayarit (SEDER) para producir cantidades mayores de semilla de maíz y ofrecerla a otros productores de Nayarit mediante el programa de Alianza Contigo y Kilo x Kilo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Híbridos sintéticos

Evaluación de 12 genotipos en 1996. Los híbridos sintéticos B-840 x C-343 y B-840 x A-7559 tuvieron un alto rendimiento en comparación con los híbridos comerciales (Cuadro 1), tal como se esperaba de acuerdo a evaluaciones previas (González *et al.*, 1993; Valdivia y Vidal, 1994; Villanueva *et al.*, 1994), lo que fundamentó la decisión del Comité Técnico para producir veinte toneladas de semilla de ocho híbridos sintéticos en el ciclo otoño-invierno 1997-1998.

Evaluación de ocho híbridos sintéticos y sus progenitores, ciclo primavera-verano 1998. El mejor híbrido sintético fue la combinación P-3028 x A-7573, que además mostró heterosis positiva en rendimiento (Cuadro 2). Los híbridos sintéticos A-7573 x D-880 y HV-313 x D-880 también fueron seleccionados por su rendimiento y precocidad, respectivamente. El híbrido HV-313 confirió a su progenie de 5 a 10 días de precocidad, característica que lo hace apto para sitios con menos humedad. La selección de estos materiales no fue solo con base en el rendimiento y otros atributos agronómicos medidos, sino también por las observaciones que hicieron los agricultores durante el ciclo del cultivo. La opinión de los agricultores coincidió con estudios similares, como el de Ceccarelli y Grando (2007) sobre sus experiencias con el cultivo de cebada en Siria.

Producción de semilla

El costo de producción de semilla fue de \$20 000 ha⁻¹ en promedio y se obtuvieron rendimientos de 2-3 t ha⁻¹, por lo que el costo por kilogramo de semilla fue entre \$6.67 y \$10 por kilo, respectivamente. Los productores vendieron semilla en su comunidad a un precio entre \$200 y \$250 por saco de semilla con capacidad de 25 kg, suficiente para sembrar 1 ha; mientras que el precio de la semilla híbrida comercial en ese año varió entre \$500 y \$750 el saco; esto es, el costo del saco de semilla del híbrido sintético fue 50% más bajo que el de semilla comercial. Además de este beneficio económico, estuvo el de la disponibilidad oportuna de semilla y la fuente de trabajo para las familias productoras del híbrido.

En el ciclo otoño invierno 1998-1999 se produjo semilla de tres híbridos sintéticos seleccionados, A-7573 x D-880; P-3028 x A-7573 y HV-313 x D-880; en lugar de los ocho

Cuadro 1. Rendimiento (kg ha⁻¹) de híbridos sintéticos de maíz evaluados bajo condiciones de temporal en la localidad de Buckingham, Santa María del Oro, Nayarit. Ciclo primavera-verano 1996.

Genotipo	Parcelas						
	1*	2	3	4	5	Media	
A-7573	7111	7809	7722	8013	6680	7467	a
B-840 x C-343	7373	6301	9348	6885	6564	7294	a
H-431	7207	7593	6517	6829	7106	7050	ab
B-840 x A-7559	7514	5063	8159	5382	7538	6731	ab
P-3288	7813	6201	6676	6914	6047	6730	ab
Ciclón	7016	7202	6024	6591	6576	6682	ab
A-7597	6865	7046	6544	6253	6631	6668	ab
Tornado	6928	7132	6503	6391	5226	6436	ab
C-220	7588	6643	4770	6267	6296	6313	ab
P-3066	6480	6649	6226	5724	6000	6216	ab
C-385	7566	5164	5031	6575	5928	6053	ab
H-430	7362	6031	5265	3804	4345	5361	ab
Medias	7235	6570	6565	6302	6245	6583	b

Medias con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey, 0.05= 1775 kg ha⁻¹); *= Nombre del productor 1) Fermín; 2) Cándido; 3) Lucio; 4) Florencio y 5) Mariano.

Cuadro 2. Rendimiento (kg ha⁻¹) y heterosis en la evaluación de híbridos sintéticos sembrados bajo temporal, San José de Mojarra y Buckingham, Santa María del Oro, Nayarit. Ciclo primavera-verano 1998.

Genotipo	Comunidad				Porcentaje de heterosis ⁺	
	San José de Mojarra	Buckingham	Media		HPP	HMP
P-3028 x A-7573	6352	6405	6379	a	6.7	4.5
A-7573 x D-880	6337	--	6337	a	16.4	8.7
P-3028	6160	6050	6105	a	--	--
D-867 x P-3028	5971	6131	6051	a	0.5	-0.9
D-867	--	5968	5968	a	--	--
A-7573	5546	6167	5857	a	--	--
C-385 F ₂ x D-880	5557	5816	5687	ab	--	--
C-385 x D-880	5101	6218	5660	abc	--	--
P-3028 x D-880	6308	4930	5619	abc	0.5	-8.0
D-880	5381	4784	5083	bc	--	--
Ciclón x A-7573	4328	5625	4977	cd	--	-15.0
HV-313	5105	4580	4843	d	--	--
HV-313 x D-880	4951	4595	4773	d	-3.8	-6.1
Media	5542	5633	5588		--	--

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05= 784 kg ha⁻¹); ⁺Heterosis sobre promedio de progenitores (HPP) y sobre el mejor progenitor (HMP).

inicialmente producidos, que fueron nombrados B-2001, B-2002 y B-2003, respectivamente. En esa ocasión fueron cruzamientos $F_2 \times F_2$ debido a que se había modificado la ley de semillas, la cual refería a que ya no se permitía la producción entre híbridos $F_1 \times F_1$. En esa ocasión ya no participó el despacho de agrónomos debido a que los agricultores ya estaban capacitados y también por que ya sólo produjeron semilla para su comunidad, Buckingham. En el ciclo otoño-invierno 1999-2000 se produjo semilla para 3500 ha de el mejor híbrido sintético B-2002, promovido y financiado por la SAGARPA y la SEDER en respuesta a la demanda de los productores de maíz de Nayarit por semilla de calidad y precio accesible. En esa ocasión se benefició la semilla producida en cuanto a separación de tamaño, tratamiento y embolsado. Los agricultores ya contaban con conocimiento sobre la producción de semilla, lo que permitió una mejor calidad y reducción en su costo de producción. Los conocimientos adquiridos durante el programa fueron: siembra en lotes aislados por separado la semilla hembra y macho en una relación de surcos de 6:2 sirviéndose de una sembradora de precisión con cuatro cajones, los tres primeros con la semilla hembra y el cuarto con la del macho, el desespigue de las plantas hembra, la cual hicieron mucho antes de la dehiscencia del polen de las plantas macho, aunque eliminaron las hojas superiores, no se observaron efectos significativos sobre el número y tamaño de semillas producidas. Estos resultados indican que la metodología del modelo P-E fue exitosa.

Control de calidad

La calidad genética de la semilla producida en cada híbrido sintético se verificó mediante los ensayos en franjas que realizaron los agricultores en sus parcelas. La secuencia de este proceso fue la de producir semilla bajo riego en los ciclos otoño-invierno, generalmente de diciembre-mayo y sembrarla en los ciclos primavera-verano en los lotes demostrativos, comerciales y en los ensayos en franjas con mayor control. En caso de que se presentara algún problema relacionado con la semilla en alguna siembra comercial, se contaba con el respaldo en los ensayos en franjas. Por otro lado, los ensayos en franjas en las parcelas de los agricultores del Comité Técnico se utilizaron para identificar los híbridos sintéticos de mayor rendimiento y adaptados a la región.

El concepto de control de calidad fue propuesto al Comité Técnico y aceptado por los agricultores que habían tenido experiencias negativas por la mala calidad de semilla que ocasionalmente compraban.

Con base en la evaluación realizada en 1998 se descartaron cinco híbridos y finalmente los productores decidieron solo producir semilla del híbrido sintético B-2002 en el ciclo otoño-invierno 1999-2000. El híbrido sintético B-2002 tuvo un buen comportamiento y fue consistente en comparación con los híbridos comerciales: P-3028, A-7573 y H-359 (Cuadro 3). Esto corroboró el potencial de rendimiento de B-2002.

Cuadro 3. Rendimiento medio (tha^{-1}) del híbrido sintético B-2002 en comparación con tres híbridos comerciales producidos bajo temporal durante los ciclos de primavera-verano en Buckingham, Santa María del Oro, Nayarit.

Genotipo	1998	1999	2000	Media
A-7573	5.8	4.4	7.3	5.8
B-2002	6.3	4.3	6.1	5.6
P-3028	6.1	4.6	7.4	6.0
H-359	5.8	4.2	-	5.3

Datos obtenidos en ensayos en franjas y ensayos formales de rendimiento en al menos cinco sitios de evaluación.

Utilización de semilla

La semilla que se produjo en los ciclos de otoño-invierno 1997-1998, 1998-1999 y 1999-2000, se sembró en los ciclos de temporal subsiguientes en diferentes regiones productoras del estado (Cuadro 4). Con la semilla de ocho híbridos sintéticos producida en 1998 se sembraron 1000 ha en Buckingham, San José de Mojarras y Miguel Hidalgo. En 1999 con la semilla producida de los tres mejores híbridos sintéticos, B-2001, B-2002 y B-2003, cruza $F_2 \times F_2$, se sembraron 1500 ha, de las cuales 350 se incluyeron en el programa Kilo x Kilo para ser utilizadas en el municipio de Santa María del Oro. En el ciclo primavera-verano 2000 sólo fue sembrado el B-2002, cruza $F_2 \times F_2$, en 3500 ha en los principales municipios productores de maíz, tales como Santa María del Oro, Ahuacatlán, Compostela, San Pedro Lagunillas, Acaponeta y Huajicori. De esta superficie, 2000 ha se sembraron como parte del programa Kilo x Kilo.

La creciente aceptación de los híbridos sintéticos desarrollados por los agricultores se atribuye a la calidad genética, la cual fue comparable con la de cualquier híbrido comercial y la adecuada promoción que realizaron los productores a través de demostraciones, la cual se extendió al programa Alianza Contigo. El trabajo realizado demostró

Cuadro 4. Número de hectáreas sembradas con semilla de híbridos sintéticos en diversas localidades de Nayarit, México.

Ciclos primavera-verano	Híbridos	Superficie (ha)	Programa Kilo x Kilo (ha)
1998	Ocho híbridos sintéticos	1000	0
1999	B-2001, B-2002 y B-2003	1500	350
2000	B-2002	3500	2000

la capacidad de los agricultores para producir su propia semilla y la posibilidad de comercializarla en beneficio de un mayor número de productores en Nayarit. En este aspecto cabe destacar las repercusiones positivas del programa de capacitación sobre la producción de semilla y los criterios de selección de materiales, factores clave del mismo.

La decidida participación de los agricultores en el proceso de selección fue importante para el éxito del programa. La experiencia y capacidad de los productores y el método científico aportado por el técnico investigador hicieron posible identificar las mejores selecciones durante el desarrollo de los híbridos. Lo anterior concuerda con experiencias similares reportadas por otros investigadores (Aragón *et al.*, 2000; Ceccarelli y Grando, 2007).

El objetivo de desarrollar híbridos sintéticos de maíz para auto abasto de semilla fue rebasado una vez que los productores se percataron de la posibilidad de obtener semilla a menor precio en relación con la ofrecida en el mercado. Es pertinente mencionar el interés y apoyo oficial, a través del programa Kilo x Kilo, que promovió el uso de la semilla en otras regiones productoras de maíz en el estado, particularmente en áreas marginales. El modelo P-E superó los problemas reconocidos de adopción de tecnología que indican que las variedades que son liberadas por un sistema formal de mejoramiento genético no son adoptadas por desconocimiento, sin importar el mayor rendimiento que se obtengan sobre las variedades locales. Los agricultores en general, y particularmente los de zonas marginales, no las adoptarán a menos que sean seleccionadas a través de un proceso que involucre su participación (Mustafa *et al.*, 2006). Las experiencias exitosas de las metodologías de

mejoramiento genético participativo demuestran que cuando un programa resulta exitoso, la difusión y adopción dentro y fuera de las comunidades es segura (Turner y Bishaw, 2000). La participación de los agricultores también incrementa la rapidez de la adopción y la eficacia y efectividad del programa de mejoramiento (Ceccarelli y Grando, 2002).

Con el uso extensivo de semilla de calidad apta para siembra, el impacto positivo esperado se estima para una superficie de 30 000 ha. El costo promedio de un saco de 25 kg de un híbrido comercial de maíz es de \$750 para 1 ha por lo que el costo para esa superficie a nivel estatal sería de \$22 500 000 anuales. El costo de un saco de la semilla de 25 kg producida por los agricultores es de \$200 por ha, lo que representa un costo de 6 millones de pesos anuales. La diferencia en los costos representa un ahorro de \$16 500 000 para una superficie similar. Mustafa y Ceccarelli (2006) reportaron que la relación beneficio-costos para los programas de mejoramiento genético participativo fue 46%; mientras que para los programas convencionales fue de solo 19%. Por otro lado, la semilla mejorada que desarrollaron los productores tiene un uso potencial en 60 000 ha en todo el estado.

El programa original fue producir semilla para auto abasto. Como consecuencia de la promoción realizada y de rendimientos obtenidos, la demanda superó la cantidad de semilla producida. Para evitar problemas relacionados con aspectos legales, se realizaron cruzamientos con generaciones avanzadas $F_2 \times F_2$. Aunado a lo anterior, con el propósito de prever problemas legales en la comercialización de semilla, los productores de Buckingham iniciaron otro proyecto para desarrollar híbridos mejorados a partir de dos poblaciones heteróticas. El método propuesto corresponde al mejoramiento de dos poblaciones heteróticas mediante un sistema de selección recurrente recíproca de medios hermanos que requiere tres ciclos de siembra para completar un ciclo de selección (Valdivia *et al.*, 2000). El híbrido así desarrollado sería semilla propia de calidad certificada.

CONCLUSIONES

El modelo productor-experimentador fue exitoso para el desarrollo de híbridos sintéticos y producción de semilla de maíz por agricultores de la comunidad de Buckingham, Santa María del Oro, Nayarit.

Los rendimientos obtenidos, en comparación con los híbridos comerciales, demostraron la competitividad de los

híbridos sintéticos y la calidad genética de semilla producida por los agricultores.

El mejor híbrido sintético B-2002 tuvo una creciente aceptación entre los productores de varias regiones, quienes sembraron 3500 ha en el 2000.

El uso de semilla producida por los agricultores representó una reducción significativa en el costo del insumo, lo que significó una mejora importante en rentabilidad del cultivo de maíz.

Las características del modelo Productor-Experimentador facilitaron el intercambio de experiencias en la producción de semilla, lo que a su vez contribuyó al éxito logrado por los productores de semilla híbrida de maíz.

LITERATURA CITADA

- Aragón C., F.; Taba, S.; Díaz, J.; Castro G., H. y Hernández C., J. M. 2000. Mejoramiento participativo del maíz bolita de Oaxaca, México. *In: Memoria del XVIII. Congreso Nacional de Fitogenética*, Irapuato, Guanajuato, México. p. 7.
- Ceccarelli, S. and S. Grando. 2002. Plant breeding with farmers requires testing the assumptions of conventional plant breeding: Lessons from the ICARDA barley program. p. 279-332 *In: Cleveland, D. A. and Soleri, D. (eds.), farmers, scientists and plant breeding: integrating knowledge and practice*. CABI, Wallingford, UK.
- Ceccarelli, S. and Grando, S. 2007. Decentralized-participatory plant breeding: An example of demand driven research. *Euphytica* 156(3):349-360.
- Ceccarelli, S.; Grando, S.; Bailey, E.; Amri, A.; El Felah, M.; Nassif, F.; Rezgui, A. and Yahyaoui, A. 2001. Farmer's participation in barley breeding in Syria, Morocco and Tunisia. *Euphytica* 122:521-536.
- González S., C.; Ron P., J. y Ramírez D., J. L. 1993. Cruzas entre híbridos comerciales de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 16:30-41.
- Espinosa C., A.; Tadeo R., M.; Mora B., A.; Martínez M., R.; Salazar H., D.; Sierra M., M.; Palafox C., A.; Caballero H., F.; Rodríguez M., F. y Esqueda E., V. 2005. Capacidad productiva de las generaciones F_1 y F_2 de híbridos de maíz androesteriles y fértiles evaluados en dos localidades. pp. 160-165. *In: Memorias del VIII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas*. Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Ciencias Agrícolas. Mexicali, Baja California, México.
- Hcdé, H. 2005. Las experiencias del fitomejoramiento participativo en América Central (Guatemala, Honduras, Nicaragua) respaldadas por el FDN. *In: Fitomejoramiento participativo: Experiencias y oportunidades en Mesoamérica*. Fondo de desarrollo de Noruega-Centro para la Investigación, la Promoción y el Desarrollo Rural y Social. 42 p.
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). 2001. Participación y género en la investigación agropecuaria. Quito, Ecuador. 128 p.
- Moreira, P. 2006. Participatory maize breeding in Portugal. A case study. *Acta Agronomica Hungarica*. 54(4): 431-439.
- Mustafa, Y.; Grando, S. and Ceccarelli, S. 2006. Benefit-cost analysis of participatory breeding programs in Syria. (www.prgaprogram.org/IAWFTP/papers/Mustafa.pdf).
- 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.
- Smale, M.; Bellon, M. R.; Aguirre, J. A.; Rosas, I. M.; Mendoza, J.; Solano, A. M.; Martínez, R.; Ramírez, A. and Berthaud, J. 2003. The economic costs and benefits of a participatory project to conserve maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Agric. Econ.* 29(3):265-275.
- Smith, M. E.; Castillo G., F. and Gómez, F. 2006. Participatory plant breeding with maize in Mexico and Honduras. *Euphytica* 122(3):551-563.
- Tiwari, T.P.; Brook, R.M. and Sinclair, F. L. 2004. Implications of hill farmer's agronomic practices in Nepal for crop improvement in maize. *Exp. Agric.* 40:397-417.
- Toledo-Machado, A.; Arcanjo-Nuñez, Torres de Toledo Machado, C.; Lourenco-Nass, L. y Candido-da, Rocha Bettero, F. 2006. Mejoramiento participativo en maíz; su contribución en el empoderamiento comunitario en el municipio de Muqui, Brasil. *Agron. Mesoamer.* 17(3):393-405.
- Turner, M. R. and Bishaw, Z. 2000. Linking participatory plant breeding to the seed supply system. *In: Scientific basis of participatory plant breeding and conservation of genetic resources*. Oaxtepec, Morelos, Mexico.

- Valdivia B., R. y Vidal M., V. A. 1994. Heterosis entre híbridos comerciales de maíz. *In: Memoria del XV Congreso Nacional de Fitogenética*. Monterrey, Nuevo León, México. p. 23.
- 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.
- Valdivia B., R.; Vidal M., V. A. y Sierra M., M. 2000. Selección de progenitores de maíz para la obtención de semilla híbrida por pequeños agricultores. *Agron. Mesoamer.* 11(2):58-89.
- Villanueva V., C.; Castillo G., F. y Molina G., J. D. 1994. Aprovechamiento de cruzamientos dialélicos entre híbridos comerciales de maíz: Análisis de progenitores y cruas. *Rev. Fitotec. Mex.* 17:175-185.
- Villarreal F., E. 2001. El Modelo Productor-Experimentador en la metodología de capacitación en el manejo de programas de mejoramiento continuo de la productividad y diseño de la pequeña empresa con capacidad para obtener una rentabilidad sostenible. Folleto técnico SINDER. 99 p. (Publicación especial).
- Witcombe, J. R.; Joshi, A. and Goyal, S. N. 2006. Participatory plant breeding in maize: A case study from Gujarat, India. *Euphytica* 30(3):413-422.
- Yan W., L.; Hunt, A.; Johnson P.; Stewart, G. and Xuewen, L. 2002. On-farm trials vs. replicated performance trials for cultivar evaluation. *Crop Sci.* 42:385-392.