

DESARROLLO DE GERMOPLASMA DE MAÍZ PARA EL ALTIPLANO DE GUATEMALA ¹

Mario R. Fuentes ²

RESUMEN

Desarrollo de germoplasma de maíz para el altiplano de Guatemala. La metodología consistió en realizar colecciones nativas de maíz del y altiplano de Guatemala y evaluar formaciones de poblaciones en ambientes contrastantes. El esquema de selección incluyó la evaluación de progenies en fincas de agricultores y la recombinación en estación experimental para amortiguar los cambios ambientales. Bajo este sistema se han mejorado las poblaciones V-301, V-302, Bárcena 71, V-304, V-305, Don Marshall y Chanin adaptadas al altiplano Central y las poblaciones San Marceño, Guateian Xela, Compuesto Blanco, Toto amarillo y Chivarreto para al altiplano occidental. La respuesta a selección para el rendimiento es positiva con ganancias hasta de 4, 3% por ciclo y la disminución en altura de la planta y mejoró la posición de la mazorca. El rendimiento de las variedades mejoradas a nivel de parcela de prueba en campos de agricultores mostraron en promedio 21 y 41% de incremento en relación al testigo del agricultor para la zona del altiplano central y occidental, respectivamente. Informes de la Socioeconomía Rural indican que las variedades mejoradas han sido adoptadas por el 50% de los agricultores que han participado en actividades de transferencia de tecnología.

ABSTRACT

Development of maize germplasm for the Guatemalan Plateau. The methodology used included the collection of native maize varieties within the region, their evaluation in contrasting environments, and the development of populations. The selection scheme included the evaluation of progenies in farmers' fields and recombination in the research station in order to avoid environmental changes. With such a system, we have improved the populations V-301, V-302, Barcena 71, V-304, V-305, Don Marshall and Chanin, all adapted to the Central plateau, and the populations of San Marceño, Guateian Xela, Compuesto Blanco, Toto Amarillo and Chivarreto, for the Occidental Plateau. The yield response to selection was positive, with gains up to 4, 3% per cycle and with a reduction in plant height and a better location of the ear in the plant. The yields for the improved varieties at the farmers' fields, showed an average of 21 and 41% higher yields in comparison to the check for the central and the occidental plateau, respectively. Reports from the "Rural Socio-Economy" program indicated that the improved varieties were adopted by 50% of the farmers who participated in the technology transfer activities in the region.

INTRODUCCION

El altiplano de Guatemala está ubicado sobre la Sierra Madre y constituido por las departamentos de San Marcos, Quezaltenango, Huehuetenango, Totonicapan y Sololá, las cuales conforman el altiplano Occidental; Chimaltenango y Sacatepequez el altiplano Central y ocupan aproximadamente 17.711 km² (16% de la superficie del país). Se localiza en la latitud 14° 39' y longitud 90° 49'. La población del altiplano en 1985 se estimó en 2 502 868 habitantes (30% de la población nacional) y 141 habitantes por km², constituida por diversidad de grupos étnicos, bajo nivel de escolaridad, alto índice de analfabetismo (50,8%) y uso generalizado

de lenguas indígenas. En la región se observa un marcado minifundio, uso de áreas marginales para cultivos limpios, bajos recursos económicos, subocupación de la mano de obra, canales de comercialización deficientes, migración, baja productividad agrícola y se practica una agricultura de subsistencia y de sistemas donde el maíz es el principal componente asociado con frijol, trigo, papa y cucurbitáceas (ICTA, 1987). En los últimos años, la producción de crucíferas, arveja y otras especies hortícolas orientadas al mercado de exportación han cobrado importancia.

Los suelos del altiplano se formaron sobre material madre de cenizas volcánicas. El relieve varía desde plano hasta fuertemente inclinado, poseen buen drenaje interno,

¹ Presentado en la XLI Reunión Anual del PCCMCA en El Salvador, Centroamérica. 27 al 31 de marzo, 1996.

² Investigador Programa de Maíz. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA). Km.21,5 hacia Amatitlan, Bárcena, V.N. Guatemala C. A.

la capacidad de abastecimiento de agua es regular, la fertilidad natural es alta y sufre un alto peligro de erosión. El altiplano Central está ubicado en la zona de vida bosque montano bajo. La precipitación anual es de 1588 mm humedad relativa promedio de 80% y temperatura media de 17,9°C. Las altitudes varían entre 1300-2200 msnm. El altiplano occidental se ubica en la zona de vida bosque húmedo montano bajo. La precipitación media anual es de 2065 mm., humedad relativa de 80% y temperatura media de 15.50C, las altitudes varían de 2300 a 3000 msnm. (IGN, 1983).

El uso potencial de la región es forestal, sin embargo, se hace uso de tierra en un para cultivos equivalente entre el 71-93%, las modalidades tecnológicas de producción agrícola del altiplano son variables. El uso de germoplasma de maíz nativo, o también llamado criollo, predomina en el área y se cultiva asociado (85%) o en monocultivo (15%) (ICTA, 1977). Generalmente los agricultores del altiplano siembran el maíz bajo condiciones de humedad residual antes del establecimiento de las lluvias. La preparación del suelo se realiza inmediatamente después de la cosecha para conservar la humedad. La siembra se realiza entre marzo y abril, variando la fecha de acuerdo a la localización de la unidad de producción y ciclo de cultivo. Se han identificado cuatro modelos de los sistemas productivos agrícolas del altiplano (OEA-MAGA, 1994).

La zona altiplano presenta variación de condiciones de topografía, fertilidad, temperatura, precipitación, suelo y amplia diversidad ambiental, lo que limita plantear recomendaciones con amplia cobertura. La mayoría de agricultores utiliza, variedades de maíz nativas. El potencial de rendimiento es variable, tardíos, (hasta 280 días), baja adaptación a la diversidad ambiental posiblemente al proceso de selección tan específico al que fueron sometidos a través de muchos años, excesiva altura de planta y mazorca, principalmente bajo condiciones de alta fertilidad y susceptibles al acame. El manejo agronómico del maíz varía entre agricultores y regiones. Existe diversidad de sistemas de asocio y/o relevo con otros cultivos, distancia de siembra, arreglos topológicos, fertilización, uso de abonos orgánicos, épocas de siembra, preparación del suelo, entre otros.

El Programa de Maíz concluyó, en 1973, que no podrían obtener aumentos importantes del rendimiento, si no se trabajaba en la disminución de la altura y selección de familias rendidoras para conformar poblaciones estables a través de ambientes. La estrategia se fundamentó en reconocer la importancia de utilizar germoplasma nativo como fuente de desarrollo de cultivares adaptadas a regiones contrastantes del altiplano. El Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola realizó colecciones de

germoplasma nativo de estas regiones. Posteriormente los evaluaron a nivel de estación experimental y en campos de agricultores para conformar poblaciones con base en los materiales superiores en la evaluación y realizar el mejoramiento sistemático de las poblaciones a través de selección fraternal convergente hacia adaptación en ambientes contrastantes para minimizar el efecto de la interacción genotipo-ambiente (ICTA, 1975 y 1987).

El objetivo del Programa de Maíz es evaluar la diversidad genética del germoplasma nativo e identificar materiales que sirvan de base para el mejoramiento genético del cultivo y desarrollar variedades con alto potencial de rendimiento, características agronómicas deseables y amplia adaptación a las condiciones ambientales del altiplano de Guatemala que contribuyan a maximizar la productividad del cultivo en las distintas áreas del altiplano de Guatemala.

METODOLOGIA

El Programa de Maíz trabaja en dos estaciones experimentales del ICTA. La estación experimental del altiplano central ubicada en Chimaltenango, con cobertura a los departamentos de Sacatepequez y Chimaltenango, para las localidades ubicadas entre 1200-2200 m s n m. En el altiplano occidental la estación Labor Ovalle ubicada en Quezaltenango, con cobertura a los departamentos de San Marcos, Quezaltenango y Totonicapan, cuyas localidades están entre 2.300-3.000 msm. Se dispone de equipos de Prueba de Tecnología para cada zona del altiplano que apoyan las actividades del Programa de Maíz en la evaluación de germoplasma en campo del agricultor. Para cumplir con los objetivos planteados por el Programa de Maíz, a partir de 1973, se diseñó el esquema del Sistema Dinámico de Mejoramiento de maíz para el altiplano (Figura 1) (ICTA, 1976). El sistema incluye las colecciones superiores para formar poblaciones base, evaluadas inicialmente y seleccionadas en función en los parámetros de estabilidad. Estas poblaiones se sometieron a la Unidad de Divergencia Ambiental (UDA). El sistema selecciona y recombina en dos ambientes diferentes. En alta densidad (88,000 pl/ha) se selecciona la capacidad de competencia de la planta y en baja densidad (44,000 pl/ha) el potencial de rendimiento. Las polinizaciones se realizan en baja densidad. Durante el período vegetativo se seleccionan las plantas de acuerdo a su fenotipo y a la cosecha se evalúan por su comportamiento. Se selecciona hasta 20% de familias superiores. Bajo este sistema se han seleccionado familias que han reducido su altura de planta en un metro y de 15-30 días su período vegetativo para genotipos adaptados a la zona del Altiplano (ICTA, 1977). La evaluación de progenies se realiza en fincas de agricultores en por lo

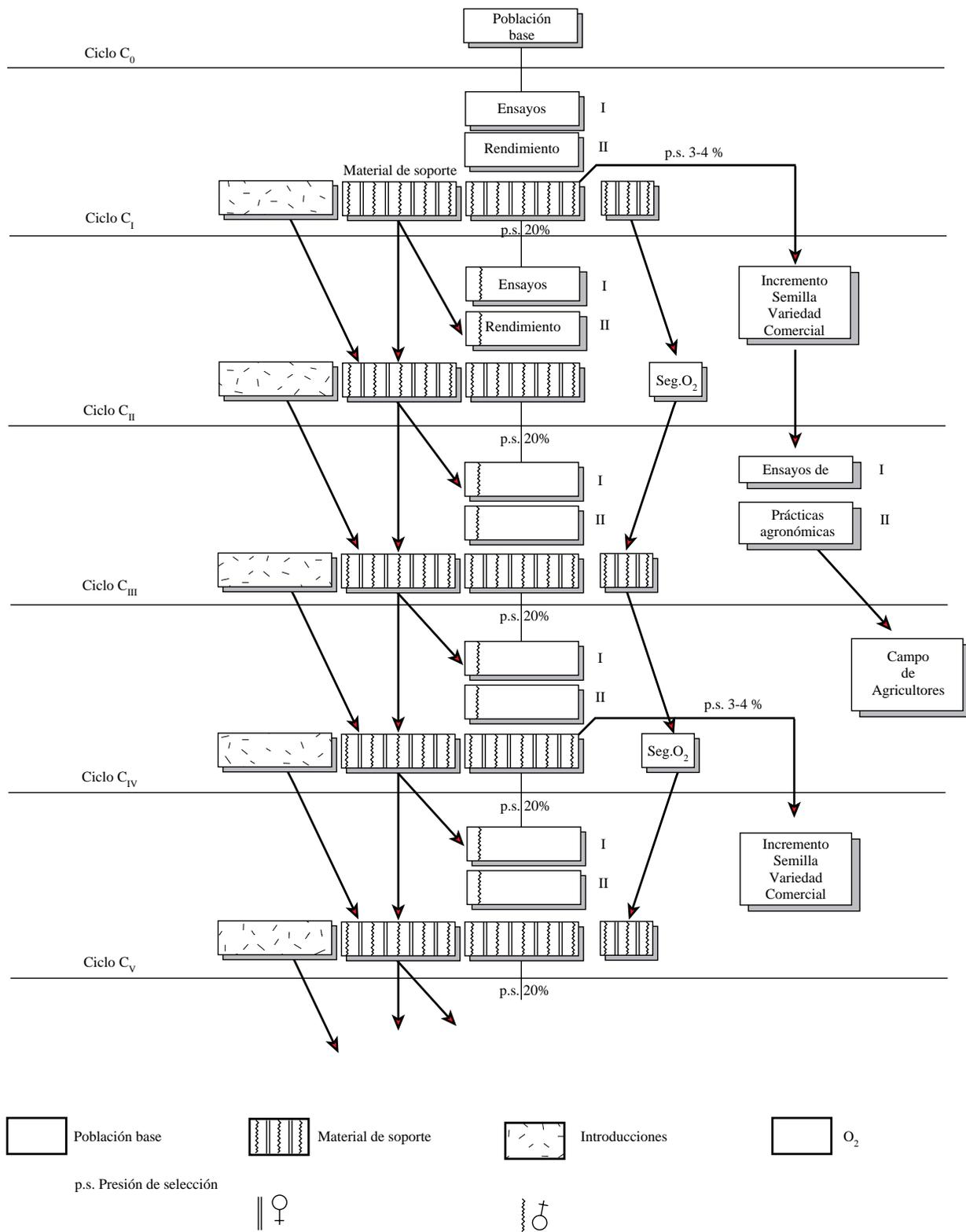


Figura 1. Sistema Dinámico de Mejoramiento de Maíz para El Altiplano de Guatemala.

Fuente: ICTA, 1976. Informe Anual junio 1974-julio 1975. 258 p.

menos seis localidades en surcos individuales de 5 m y se les toman datos agronómicos y de rendimiento con las que al integrarlos se fundamenta el criterio de selección de familias en el lote de recombinación de la estación experimental. No se siembran repeticiones y se compensa al colocar testigos en forma sistemática para relacionar los valores obtenidos de las familias dentro de una estratificación adecuada y estandarizar el efecto ambiental. Los lotes de recombinación pueden ser de medios hermanos (MH) ó hermanos completos (HC) y cada ciclo debe producir no menos de 250 familias que serán nuevamente evaluadas en campo del agricultor en el siguiente ciclo. Las hileras por mazorca se emasculan en el bloque y se siembran hileras de machos formados por un compuesto balanceado de todas las familias de mazorca por hilera para obtener una máxima recombinación entre las familias seleccionadas y completar un ciclo cada año. Se selecciona el 20% de las familias y dentro de estas las 5 mejores plantas, las cuales servirán para las pruebas del siguiente año. El diferencial de selección comprende diferencias entre y dentro de familias. La restricción en el número de familias que pueden compararse resulta en intensidad y diferencial de selección reducida, pero se compensa por una menor desviación estándar fenotípica al controlar mejor la contribución ambiental mediante la repetición de familias en varias localidades (Bolaños, 1980).

Poey en 1977, introdujo variantes a la metodología para ampliar la base genética de las poblaciones sujetas a mejoramiento (Bolaños, 1980). A la selección de MH se le incorporan familias de origen diferente llamadas familias de soporte y se siembran junto al lote de recombinación. En la generación F1, estas familias se retrocruzan con la población base para recuperar las características deseables de esta. Se someten estas familias a un ensayo de rendimiento como mínimo en dos localidades se seleccionan las mejores y se introducen a la población base para que formen parte del compuesto balanceado al recombinarlas. Se incluye 4-6% del total de familias de la población que se esta mejorando y solamente se introducen las familias con un diferencial de selección superior al 15% para capitalizar efectos aditivos. En esta etapa los efectos heteróticos aun pueden manifestarse. A partir de 1985, se realizó un ciclo de selección recurrente de líneas S1 en las poblaciones en mejoramiento. Se generaron 400 líneas por población y se evaluaron a nivel de estación experimental. La población se reconstituyó con el 20% de la fracción superior y se formaron variedades sintéticas con las cinco a ocho líneas superiores de la evaluación (Fuentes, 1990).

RESULTADOS

La base de las poblaciones de maíz generadas para el altiplano proviene de germoplasma nativo y colectado en diferentes zonas geográficas de la región por el Programa de Maíz y los Equipos de Prueba de Tecnología. Ese germoplasma ha sido evaluado extensivamente y utilizado como material base y/o soporte. Se estima que se han evaluado un total de 829 colecciones nativas para el grupo de grano amarillo y 483 para grano blanco (Barrios, 1969; ICTA, 1975; Fuentes, 1986). En el Cuadro 1 se presenta origen, localidad de colecta, último ciclo de selección, color y adaptación de las poblaciones de maíz formadas a partir de la evaluación de germoplasma nativo. La población San Marceño, Guateian Xela y Compuesto Blanco fueron generados por el Programa de Investigación del Instituto Agropecuario Nacional (IAN) y sometidas posteriormente al proceso de selección planteado por ICTA.

En el altiplano central se evaluaron 95 colecciones de maíz de la región. Los 10 mejores criollos superaron al testigo Bárcena-71 y V-301 (3019 y 3845 kg/ha) en 41 a 71% (4269 y 5162 t/ha) (Datos no presentados) (ICTA, 1977). La fracción superior se evaluó durante dos años consecutivos (1977-78) en diez y nueve localidades, respectivamente (Cuadro 2). El Criollo 34 Amarillo Patzicia, Criollo 48 y 89 amarillo Balanyá, se identificaron con mejor potencial de rendimiento hasta de 4580 kg/ha, estables ($v_i=1$ y $S_{2d_i}=0$), características agronómicas deseables y superan en 20% a las variedades mejoradas y 500 kg/ha a la media de las mejores variedades criollas. Con los resultados obtenidos se recomendó la formación de la población V-304 con base en los Criollos 34, 48 y 89. Las variedades Criollo Blanco 5-76 y Criollo 4 Amarillo Chimaltenango fueron los superiores en áreas del valle de Chimaltenango con 5100 y 4800 kg/ha y superaron en 14 y 10% al criollo local. El Criollo Blanco 5-76 se constituyó en soporte de la población V-301 y el Criollo 4 amarillo Chimaltenango conformó a la población V-302. La evaluación permitió definir adaptación de las variedades criollas con base en áreas homogéneas por lo que el altiplano central se subdividió en dos áreas, alta y baja (1300-1800 y 1800-2200 msnm) (ICTA, 1979).

En el Cuadro 3 se presenta la fracción superior del germoplasma de maíz evaluado durante los años 1977-78 a través de 31 localidades del altiplano Occidental. Las variedades San Marceño y Criollo 252-76 fueron identificados como estables. El rendimiento superó a los criollos locales, en 590 kg/ha en las localidades de Quetzaltenango, y ocurrió lo contrario en la región de Totonicapán donde el Criollo 605-76 superó en 720 kg/ha a San Marceño. Con base en esta evaluación se delimitó el área de adaptación de San Marceño y se recomendó

formar la población Toto Amarillo con base en el germoplasma del Criollo 605-76 y someterla al proceso de mejoramiento. Las poblaciones superiores se sometieron al sistema UDA el que contribuyó a seleccionar familias que han reducido su altura de planta en un metro y de 15-30 días su período vegetativo (ICTA, 1977).

En el Cuadro 4 se presentan las medias de rendimiento de las variedades y criollos superiores identificados para el altiplano occidental evaluados a través de diferentes localidades en fincas de agricultores entre 1978-82. Las variedades mejoradas superaron en promedio hasta en 14% al testigo local. Prueba de Tecnología evaluó diferentes variedades criollas a través de diferentes ambientes ubicados entre 2.600-2.800 msnm distribuidos en Quezaltenango, San Marcos y Totonicapán. El Criollo 612 mostró un rendimiento consistente a través de años en evaluaciones en la zona alta del altiplano occidental (4.000-5.060 kg/ha). En 1982 este material conformó la base la población Chivarreto (ICTA, 1987).

El Programa de Maíz y prueba de tecnología constantemente evalúan germoplasma nativo. Las

evaluaciones incluyen germoplasma local y de zonas adyacentes para identificar el superior y utilizarlo como introducciones. La metodología permitió identificar colecciones con rendimiento similar y/o superior a los testigos, menos días a floración femenina y se han utilizado como soporte en las poblaciones generadas (ICTA, 1987, 1988, 1989).

El progreso de selección obtenido por la metodología de mejoramiento en las poblaciones de maíz se presentan en el Cuadro 5. En el altiplano central los ciclos de selección de las poblaciones V-301 y V-302 evaluadas a través de cuatro localidades indican que en total se capitalizó 10% en rendimiento e incrementos de 440 y 410 kg/ha, respectivamente. El método seleccionó plantas de menor altura, mejor posición de mazorca y menor días a floración. La altura de la planta y de la mazorca se redujo 86 y 40 cm en la población V-301 y 12 días menos a floración femenina. Para V-302 la altura de planta se redujo 40 cm, no afectó a la altura de mazorca y los días a floración femenina disminuyeron 12 días. En general las restantes características agronómicas son uniformes (Fuentes y Landaverry, 1987). La evaluación de ciclos de selección en las poblaciones del altiplano occidental indican incrementos por ciclo de

Cuadro 1. Poblaciones de maíz para el altiplano central y occidental de Guatemala.

Población colecta	Origen msnm	Localidad	Ciclo selección	Color	Adaptación
<i>Altiplano Central</i>					
V-301	Criollo Blanco	Bárceñas	C18	Blanco	1400-1800
V-302	Criollo 4	Parramos	C9	Amarillo	1400-1800
Bárceña 71	Criollo Grushin	San José Pinula	C13	Amarillo	1400-1800
Don Marshall	Criollos superiores	Varios	C15	Amarillo	1400-1800
Don Marshall	Segregantes blancos	varios	C3	Blanco	1400-1800
Chanin	Criollos locales, Pool 29, 33 y Amarillo Bajío	varios	C15	Amarillo	1400-1800
V-304	Criollo 34	Patzicia	C9	Amarillo	1800-2000
	Criollo 48	Balanyá		Amarillo	
	Criollo 89	Balanyá		Amarillo	
V-305	Criollo Blanco	Patzun	C7	Blanco	1800-2000
<i>Altiplano Occidental</i>					
San Marceño	Criollos locales	San Marcos	C11	Amarillo	2400-2500
Guateian Xela	Criollos locales	Quezaltenango	C9	Amarillo	2200-2500
Compuesto Blanco	Criollos locales	Chimaltenango	C4	Blanco	2200-2500
Toto Amarillo	Criollo 605-76	Totonicapán	C10	Amarillo	2500-2900
Chivarreto	Criollo 612	San Francisco El Alto	C8	Amarillo	2500-2900

Fuente: Informes Técnicos Programa Maíz 1977-84; Fuentes, A y Godoy, N, 1995 (Comunicación personal); Programa de Maíz, 1991. Taller de Planificación.

Cuadro 2. Medias de rendimiento en kg/ha y parámetros de estabilidad de variedades nativas de maíz adaptadas a las condiciones del altiplano central de Guatemala. 1977-78.

Genotipo1/	1977 (10 loc.)			1978 (9 loc.)			Genotipo 2/	1978 (8 Loc.)		
	kg/ha	bi	S2d	kg/ha	bi	S2di		kg/ha	bi	S2d
Criollo 89 Am. Balanyá	4063	1,12ns	0,41**	4580	1,14*	0,00ns	Criollo Blanco 5-76	5100	1,80*	0,04ns
Criollo 48 Am. Balanyá	4005	0,99ns	0,71**	4320	0,97ns	0,00ns	Criollo 4 Am. Chimaltenango	4800	1,17*	0,0 ns
Criollo 34 Am. Patzicia	3853	0,91ns	0,14ns	4270	0,99ns	0,03ns	V-301	4500	0,71*	0,0 ns
Criollo 78 Bl. Tecpan	3739	1,51**	0,27*	4060	1,83*	0,02ns	Criollo Blanco 14-76	4400	1,11ns	0,09ns
Criollo 76 Am. Tecpan	3702	1,15ns	0,03ns	4010	1,20**	0,01ns	Criollo Local	4400	1,25*	0,52*
Criollo 39 Am. Comalapa	3699	1,15ns	0,04ns	4380	0,84 *	0,03ns	Criollo Amarillo 3-77	4200	1,41*	0,09ns
Criollo 70 Am. Tecpan	3667	0,93ns	0,04ns	4000	0,95ns	0,06ns	Criollo Amarillo 9-77	4100	1,34*	0,26*
Criollo 4 Am. Chimaltenango	3618	0,90ns	0,81**	3680	1,20*	0,12*	Criollo Amarillo 16-77	4100	1,46*	0,0 ns
Criollo local	3445	0,86ns	0,43**	3950	0,94*	0,02ns	Criollo 39 Am. Comalapa	3900	1,33*	0,0 ns
Criollo 57 Am. Sta. Apolonia	3294	1,13ns	0,03ns	4170	1,18*	0,00ns	Criollo 89 Am. Balany-	3900	1,23*	0,07ns
V-301	3426	0,53**	0,74**				Criollo 34 Am. Patzicia	3800	1,35*	0,00ns
San Marceño	3373	0,59**	0,12ns	3750	1,13*	0,37**	Criollo 48 Am. Balanyá	3800	0,84*	0,05ns
Bárcena 71	3341	0,66**	0,28*				Bárcena 71	3500	1,25*	0,0 ns
Guatelian Xela	2595	0,34**	0,22*				Sintético Amarillo	2600	0,92ns	0,07ns

1/ y 2/=Evaluados en localidades ubicadas entre 1800-2200 (Zona alta) y 1300-1800 (Zona baja) msnm, respectivamente; bi=Coefficiente de regresión; S2di=Desviación de regresión; *,**=Significativo al 1 y 5%, respectivamente; ns=No significativo. FUENTE: Informe Anual 1978-79. Programa de Maíz.

selección de 4,2, 4, 4,3, 1,7 y 1,1% en San Marceño, Compuesto Blanco, Guatelian Xela, Toto Amarillo y Chivarreto, respectivamente. Representa incrementos totales de 1144, 1252, 671, 430 y 280 kg/ha sobre la media original. La altura de planta y de mazorca de San Marceño se redujo 30 y 28 cm y se mejoró el porcentaje de mazorcas con buena cobertura, no así en las otras poblaciones (Orozco, 1981; Avila y Fuentes, 1987).

Las características agronómicas de las variedades derivadas de las poblaciones en mejoramiento se presentan en el Cuadro 6. Se ha obtenido mayor rendimiento, uniformidad en relación a altura de planta y de la mazorca, sanidad foliar y menor número de días a floración.

Las variedades Don Marshall y Chanin formadas con germoplasma local e introducciones del CIMMYT, son precoces y de porte bajo (dos meses más precoces que los criollos, 1,5 m más bajos) se desarrollaron para el altiplano central. Se utilizan en cultivos asociados y siembras intercaladas con mejores ventajas que las variedades criollas. Al sembrar en marzo permite cosechar en agosto y sembrar trigo y/o hortalizas en segunda, lo que intensifica e incrementa la productividad del sistema (Córdova y Poey, 1980).

Se realizaron cruzamientos interpopulacionales como

alternativa de ampliar la base genética e incluirlas como generaciones avanzadas dentro de las poblaciones en mejoramiento y seleccionar rendimiento, precocidad y adaptación (ICTA, 1977 y 1979; Bolaños, 1980). Algunos resultados presentaron perspectivas de uso. Cruzamientos intervarietales realizados en Chimaltenango en 1977 indican heterosis hasta de 25 y 44% sobre V-301 y Bárcena-71 al cruzarlos con Mix 1 Tuxpeño (ICTA, 1977). Materiales de maíz del altiplano central cruzados con fuentes de precocidad y porte bajo introducidos del CIMMYT entre ellos Pool 27, Pool 34, Pool 33, Amarillo Bajillo, Amarillo Bajillo x mezcla tropical blanca, Aed x Tuxpeño presentaron entre 75-100 días a floración femenina y se incorporaron como material de soporte de la población Chanin (Bolaños, 1980). Cruzamientos de San Marceño y Compuesto Blanco con materiales locales e introducidos expresaron rendimientos que superan entre 17 y 27% a San Marceño y entre 12-22% al Compuesto Blanco. El mestizaje entre materiales de zona media y alta mostraron heterosis que superan hasta en 44% a San Marceño que fue el mejor testigo. Los mejores rendimientos se obtuvieron entre Compuesto Blanco-18 x V-301, (B-71 x San Marceño) F2. (ICTA, 1977). Cruzamientos intervarietales entre variedades criollas del altiplano occidental con materiales del CIMMYT, no presentaron diferencias significativas ni mejora en características agronómicas de las cruces intervarietales

Cuadro 3. Medias de rendimiento en kg/ha, parámetros de estabilidad y análisis combinado 1977-78 en la evaluación de criollos de maíz adaptados a las condiciones del altiplano occidental de Guatemala.

Genotipo	1977					1977-78				
	Quezalt. (9 loc.)	Totonic. (7 loc.)	Media (16 loc.)	bi	S2di	Quezalt. (17 loc.)	Totonic. (14 loc.)	Media (31 loc.)	bi	S2di
San Marceño	6588	4365	5476	0,96ns	0,25*	5510	4620	5065	0,95ns	0,00
Criollo 251-76	6526	4906	5716	1,11ns	0,01ns	5440	4780	5110	1,15*	0,00
Criollo 252-76	6524	4824	5674	0,92ns	0,01ns	5350	4790	5070	1,05ns	0,00
Criollo 314-75	6439	5047	5743	1,15*	0,31**	5230	4560	4895	1,23*	0,00
Comp. Blanco	6447	4636	5542	1,16*	0,48**	5200	4810	5005	1,14*	0,00
Criollo 622-76	6207	4383	5295	1,03ns	0,10ns	5120	4820	4970	0,64**	1,07*
Criollo 154-76	6245	4365	5305	1,07ns	0,23*	5070	4400	4735	1,04ns	0,00
Criollo local	5768	4657	5212	0,96ns	0,34**	4920	4680	4800	—	—
Criollo 605-76	6392	5099	5746	1,04ns	0,09ns	4850	5340	4595	0,67**	0,00
Guateian Xela	5503	3807	4655	0,87*	0,10ns	4680	3870	4275	0,73**	0,00
Bárcena 71	4665	2428	3547	0,98ns	0,48**					
Media	5873	4615	5244							

Quezal.=Quezaltenango; Totonic.=Tonicapan; bi=Coefficiente regresión; S2di=Desviación de regresión; *,**= Significativo al 1 y 5% de probabilidad, respectivamente; ns=No significativo. FUENTE: ICTA, 1987. Taller Diagnóstico al Programa de Maíz del Altiplano.

Cuadro 4. Medias de rendimiento en kg/ha de variedades superiores de maíz evaluados en ambientes altos y bajos del altiplano occidental de Guatemala.

Variedad	1978		1979		1980		1981		1982		Media		%C.L	
	P.A	P.B	P.A	P.B	P.A	P.B								
San Marceño	5510	5544	5550	6120	4440	5820	4200	3850	3630	4630	4820	114		
Toto Amarillo	6150	5570	3470	5780	4441	4340	4130	3760	3460	4400	4550	108		
Guateian Xela	4920	4670	3050	5070	4180	4180	3590	3080	3330	3500	3960	94		
Testigo local	3780	4750	3010	5950	4110	4590	4230	3710	3620	4510	4230	100		
ICTA 612						5060	4530	4090	3380	4000	4100	99		
Criollo D. López						4630	4840	4060	3930	3520	4340	100		
Criollo M. Yax						4220	4740	4150	3940	3410	4110	97		
Criollo F. López										3690	4820	100		
Criollo M. Faustino										3640	4750	99		

P.A= Parte alta; P.B= Parta baja, % C.L= Por ciento sobre criollo local.

FUENTE: Programa Maíz, 1987. Taller de Diagnóstico al Programa de Maíz del Altiplano de Guatemala.

con respecto a San Marceño y Compuesto Blanco. Las cruza intervarietales presentaron 20 días menos en floración en relación a Guateian Xela, pero no superaron el rendimiento (ICTA, 1979).

El CIMMYT ha desarrollado germoplasma de maíz para condiciones de altiplano. Evaluaciones preliminares indican bajo rendimiento, alta incidencia de enferme-

dades foliares e inadaptación en relación a los testigos en condiciones del altiplano de Guatemala (ICTA, 1979). Evaluaciones posteriores con nuevo germoplasma presentaron buen comportamiento agronómico y tolerantes a enfermedades foliares. Destacaron en el altiplano occidental los materiales Pool 12a, Comp. I QPM y Pool 13a con rendimientos entre 5769 y 6776 kg/ha, menor altura de planta y de mazorca y superan hasta

en 18% al testigo Toto Amarillo que rindió 5714 kg/ha (Bolaños y Avila, 1987). Para el altiplano central los materiales Pool 1A, Pool 9A, Pool 9B, Batan 8788, Batan 8736 al mestizarse con las variedades Don Marshall blanco y amarillo y Chanin rindieron hasta 7890 kg/ha que equivale a un 35% superior a la variedad Don Marshall y 94 días a floración femenina (Alarcón y Fuentes, 1991).

La parcela de prueba, consiste en poner en manos del agricultor la alternativa tecnológica, manejada por éste para que la evalúe en comparación con su tecnología tradicional. Para el altiplano central las variedades evaluadas a través de diferentes localidades y años superan a la variedad del agricultor en 370 a 520 kg/ha (12-18%). Mientras que para el altiplano occidental los rendimientos

sobre la variedad del agricultor lo superan entre 240-968 kg/ha (6-27%). Los datos se presentan en el Cuadro 7.

El Proyecto de Generación, Transferencia de Tecnología y Producción de Semillas (PROGETTAPS) se inició en 1987, fue concebido para consolidar los servicios de investigación y transferencia de tecnología que presta el Sector Público Agrícola. La ejecución del proyecto fue responsabilidad de ICTA y Dirección General de Servicios Agrícolas (DIGESA) para el componente agrícola. El proyecto integró en el proceso de investigación y transferencia de tecnología a investigadores, transferencistas y agricultores. Cada unidad que integró a estos agentes se denominó módulo, formado por un investigador de Prueba de Tecnología de ICTA, un

Cuadro 5. Rendimiento, porcentual de diferencial de selección y principales características agronómicas de poblaciones de maíz del altiplano central y occidental de Guatemala.

Población	Rendimiento			Días a flor	Altura (cm)		% mazorca		% acame raíz
	Ciclo	kg/ha	%		Planta	Mzca	Descub.	Podrida	
<i>Altiplano Central</i> ^{1/}									
V-301	C0	4000	100	125	312	195	—	—	21
	C10	4230	106	113	237	121	—	—	11
	C12	4440	110	113	226	115	—	—	14
V-302	C0	4130	100	126	300	144	—	—	25
	C6	4530	110	114	253	128	—	—	14
	C8	4540	110	114	260	142	—	—	10
<i>Altiplano Occidental</i> ^{2/}									
San Marceño	C0	5478	100	127	255	148	8	4	8
	C1	5688	104	127	248	144	8	5	6
	C3	6238	114	130	228	124	7	4	6
	C5	6622	121	124	225	120	5	5	6
Comp. Blanco	C1	6180	100	121	229	143	5	4	7
	C3	6450	104	127	243	145	6	4	11
	C5	7432	120	123	235	136	7	5	2
Guateian Xela	C0	5027	100	116	199	112	4	6	14
	C1	5301	105	124	220	119	5	8	7
	C3	5698	113	114	209	113	5	6	7
Toto Amarillo	C0	3480	100	134	173	84	—	6	7
	C3	3650	105	137	180	91	—	4	9
	C7	3910	112	134	180	94	—	4	8
Chivarreto	C0	3390	100	134	182	88	—	4	8
	C2	3850	114	132	190	99	—	3	8
	C7	3670	108	133	174	86	—	3	4

FUENTE: 1/Informe Técnico, Programa de Maíz, 1987.

2/=Orozco, C.,1981. Tesis de Grado, Facultad de Agronomía, USAC; Informe Técnico, Programa de Maíz, 1989.

promotor agrícola de DIGESA y diez representantes agrícolas (RA), quienes participaron activamente en trabajos de prueba, adopción, integración y transferencia de tecnología y generaron un efecto multiplicador (Reyes, y García 1990; Córdova, Quemé, Rosado, 1992). Con esta estructura se transfirieron las variedades de maíz generadas para el altiplano (Cuadro 7) y entre 1987-88 se condujeron 469 parcelas de transferencia bajo condiciones de monocultivo y asocio (M-F), en otros casos se transfirió fertilización química. En el altiplano central, la diferencia en rendimiento de la tecnología propuesta en relación a la del agricultor varió entre -96 a 1475 kg/ha. Se observaron diferencias al evaluarlas bajo condiciones de asocio y monocultivo de 248 y 1571 kg en V-301 y V-302. En el altiplano occidental la diferencia en rendimiento osciló entre 300-1209 kg/ha. Estos datos confirman el potencial de rendimiento de las variedades generadas por el Programa de Maíz y su adaptación a diferentes condiciones ecológicas y de manejo agronómico bajo condiciones del agricultor.

Dentro de las estrategias y mecanismos para apoyar la transferencia de tecnología, el PROGETTAPS desarrolló la actividad de producción artesanal de semilla mejorada. Los agricultores, cuyas áreas de producción se encuentran aisladas en laderas con suelos pobres, no tienen acceso a la semilla proveniente de los sistemas convencionales de producción de semilla. Uno, porque no son sujetos de crédito; y dos, porque la industria

semillera no se interesa por esas áreas, debido a que las ganancias no son atractivas (Córdova, 1990). Esta actividad la ejecutaron técnicos de DIGESA, en apoyo a pequeños productores en áreas donde no existe disponibilidad de semilla mejorada. Este sector hace disponible y accesible en suficientes cantidades la semilla de interés de los pequeños productores. El desarrollo de esta nueva industria semillera se realizó dentro de los propios núcleos de pequeños agricultores; identificando como mini-empresarios potenciales a aquellos agricultores que produjeran semilla para autoconsumo, con lo cual se propiciaría que la semilla producida a nivel de estas comunidades tuviese una fuerte posibilidad de quedarse entre los agricultores de esos mismos lugares (Córdova, Quemé, Rosado, 1992). Entre 1987-88 se condujeron 40 y 76 parcelas de semilla artesanal en el altiplano central y occidental, respectivamente, distribuidas en diferentes localidades (Godínez, *et al.*, 1990 y Reyes, 1993).

Reyes (1993) y Godínez. *et al.* (1990) informan sobre la evaluación de la adopción de las variedades transferidas a través de PROGETTAPS en los primeros dos años de ejecución del proyecto para el altiplano. Los agricultores se clasificaron en cuatro poblaciones: los agricultores que condujeron parcelas de transferencia; de semilla artesanal; agricultores que no condujeron parcelas, pero participaron en actividades de promoción; y los agricultores que no han participado en la ejecución del

Cuadro 6. Rendimiento en kg/ha y características agronómicas de las variedades de polinización libre para el altiplano de Guatemala.

Variedad	kg/ha	Días Flor	Altura (cm)		% acame		% mazorcas	
			Planta	Mzca	Raíz	Tallo	Descub.	Pod.
<i>Altiplano Central</i>								
V-301	5100	117	259	143	12	5	4	5
V-302	4921	123	282	154	19	6	5	6
Bárcena 71	3341	127	223	126	12	5	5	6
V-304	4918	117	263	133	4	4	4	2
V-305	5384	126	267	155	12	5	5	3
Don Marshall Amarillo	4100	100	185	86	5	1	3	14
Chanin	4587	97	206	102	3	0	4	7
<i>Altiplano Occidental</i>								
San Marceño	6622	124	225	120	11	0	5	5
Comp. Blanco	7432	123	235	136	12	5	7	5
Guateian Xela	5698	114	209	113	10	5	5	6
Toto Amarillo	5404	117	221	126	13	5	5	7
Chivarreto	6724	136	221	127	19	5	2	1

FUENTE: ICTA, 1977; 1982; 1987; 1988 y 1989. Informe Técnico del Programa de Maíz.

PROGETTAPS. La medición de la adopción de la tecnología se estimó con base al porcentaje de agricultores que emplearon las variedades recomendadas y el porcentaje del área de maíz en que éstas fueron sembradas, se estimó el coeficiente Efecto Multiplicador Estimado (EFE) y los diferentes factores que inciden en la adopción se analizaron en función de regresión múltiple (Reyes y García, 1990; Reyes, 1993). Para el altiplano central se determinó la adopción de variedades en el 53% de los agricultores que han participado en las actividades de transferencia y 48% de agricultores que han participado en actividades de promoción. En el altiplano occidental 57% de los agricultores que participaron en parcelas de transferencia y de semilla, y 59% de agricultores que participaron en actividades de promoción. La conducción de parcelas de semilla acusa el efecto favorable más fuerte y conjuntamente con parcelas de transferencia registran un efecto multiplicador de 2,55 y 0,96 para altiplano central y occidental. En la adopción de variedades de maíz incide la conducción de parcelas de semilla, el tamaño de la familia, la actividad económica principal

del agricultor. Las giras y reuniones no fueron más eficientes que otros mecanismos de promoción que emplearon los RA, tales como, ubicar las parcelas en lugares visibles o comunicación personal con los agricultores. La disponibilidad de semilla desempeñó un papel clave en la adopción de variedades y existen márgenes potenciales de adopción que no fueron cubiertos por no existir semilla en el campo.

CONCLUSIONES

1. La estrategia de investigación con base al uso de germoplasma nativo para el desarrollo de variedades de polinización libre ha sido efectivo y obtuvo logros significativos en rendimiento, adaptación y características agronómicas.
2. La respuesta al método de selección familiar modificó positivamente al rendimiento y equivale a incrementos totales de 440 y 410 kg/ha para V-301

Cuadro 7. Rendimiento en kg/ha de Parcelas de Prueba y Parcelas de Transferencia evaluadas a través de diferentes años y localidades del altiplano de Guatemala.

Variedad en Parcela de Prueba	Año	Nº P.P.	Rendimiento ICTA	Dif. Agric.	Variedad en Parcela Transferencia	Año	Nº P.T.	Rendimiento ICTA	Dif. Agric.		
<i>Altiplano Central</i>											
V-301	1981	4	3463	3093	370	V-301 (M)	1987	62	2968	2188	780
V-304	1981	6	4173	3722	451	V-301 + (F) (M)	1988	32	2930	2261	669
V-304	1986	19	3993	3617	376	V-301 + (F) (A)	1988	21	2790	2369	421
V-304	1987	9	4221	3728	493	V-302 (M)	1987	21	3299	2408	891
V-305	1988	13	3420	2900	520	V-302 + (F) (M)	1988	15	3479	2004	1475
V-302 + (F) (A)	1988	12	2047	2143	-96						
V-304 (M)	1987	99	3618	3380	238						
V-304 + (F) (M)	1988	57	3147	2420	727						
<i>Altiplano Occidental</i>											
San Marceño	1977	45	3482	2645	837	San Marceño + (F) (M)	1988	24	3559	2846	713
Compuesto Blanco	1977	45	3491	2645	846	Compuesto Blanco (M)	1988	52	3800	3500	300
San Marceño	1978	58	4621	3653	968	Chivarreto + (F) (M)	1988	22	3270	2061	1209
Guateian Xela	1978	58	4100	3200	900	Chivarreto (M)	1988	52	3551	3034	517
Chivarreto	1985	54	3650	3210	440						
Chivarreto	1986	14	4180	3940	240						

P.P=Parcela de Prueba; P.T=Parcela de Transferencia; (F)=Fertilización; (M)=Monocultivo; (A)=Asocio.

Fertilidad recomendada por ICTA para el Altiplano Central y Occidental= 90-40-0 y 90-30-0 kg/ha NPK, respectivamente; Fertilidad Agricultor=variable.

FUENTE:Prueba de Tecnología (PT) Chimaltenango, 1981, 1987, 1988; P.T., Quezaltenango 1986; P.T. Solol: 1986.

Informes Técnicos; Cuatro Años de Investigación sobre Maíz en Guatemala (Córdoba, H y Poey, F., 1980); ICTA, 1987 y 1988. Resúmenes de Trabajos Técnicos del PROGETTAPS.

- y V-302 del altiplano central y 1144, 1252, 671, 480 y 280 kg/ha en San Marceño, Compuesto Blanco, Guateian Xela, Toto Amarillo y Chivarreto del altiplano occidental, respectivamente.
3. Se redujo significativamente la altura de la planta y posición de la mazorca en las poblaciones V-301, V-302 y San Marceño hasta en 86 y 80 cm.
 4. La evaluación de variedades mejoradas en parcelas de prueba y de transferencia superan al testigo local en 968 y 1478 kg/ha, respectivamente.
 5. El desarrollo de variedades precoces es una alternativa con potencial de uso en los sistemas de producción para uso intensivo del suelo e incrementa la productividad.
 6. La adopción de variedades mejoradas fue del 53 y 57% en agricultores que participaron en actividades de transferencia de tecnología y registraron un efecto multiplicador de 2,55 y 0,96 para el altiplano central y occidental.
 7. La producción artesanal de semilla para el pequeño productor es un mecanismo que influye en la disponibilidad y adopción de variedades mejoradas.

LITERATURA CITADA

- ALARCÓN, H.; FUENTES, M.R. 1991. Determinación de aptitud combinatoria general de germoplasma introducido y sus efectos en la formación de híbridos de maíz. *In: Informe Técnico Programa Maíz Región V. Chimaltenango, Guatemala. s.p.*
- AVILA, A.; FUENTES, M.R. 1987. Efecto de la selección familiar en cinco poblaciones de maíz del altiplano occidental de Guatemala. *In: Informe Técnico Programa de Maíz Región I. s.p.*
- BARRIOS, B. R. 1969. Evaluación de maíces criollos como fuente de germoplasma en el altiplano de Guatemala. Tesis Perito Agrónomo. HITA. Bárcenas, V.N. Guatemala. 51 p.
- BOLAÑOS, J. A. 1980. Selección familiar convergente aplicada a una población de maíz del altiplano medio de Guatemala. Tesis de Grado. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 55 p.
- CÓRDOVA, H. 1990. Desarrollo y mejoramiento para resistencia a factores adversos bióticos y abióticos y producción de semillas. Estrategias y Logros. *In: Desarrollo y Mejora-miento de Germoplasma para Resistencia a Factores Adversos Bióticos y Abióticos. PRM. Guatemala 1-15 p.*
- CÓRDOVA, H.; QUEMÉ, J.L.; ROSADO, P. 1992. Producción artesanal de semilla de maíz para el pequeño agricultor en Guatemala. 2a. Edición. 27 p.
- CÓRDOVA, H.; POEY, F. 1980. Cuatro años de investigación sobre maíz en Guatemala. Informe final. Proyecto USAID-Gobierno de Guatemala 59 p.
- FUENTES, M. R. 1986. Evaluación de 111 colecciones del Proyecto LAMP. *In: Informe Técnico Programa de Maíz. sp.*
- FUENTES, M.R.; LANDAVERRY, E. 1987. Efecto de Selección Familiar sobre el rendimiento y características agronómicas. *In: Informe Técnico Programa Maíz. Región V. Chimaltenango, Guatemala. s.p.*
- FUENTES, M. R. 1990. Avances en el programa de mejoramiento para precocidad y rendimiento en la población de maíz Don Marshall grano amarillo. XXXVII Reunión Anual del PCCMCA. Panamá. s.p.
- GODÍNEZ, L.; TUCUX, M.; MEJÍA, G.; JUÁREZ, L. 1990. Estudio de adopción de la tecnología transferida por el sistema modular del PROGETTAPS en Quezaltenango y Tonicapán, 1988-89. ICTA. Guatemala. 88-120 p.
- INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS. ICTA. 1976. Informe Anual Junio 1974-Julio 1975. 258 p
- INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS. 1976. Equipo de Producción A. Informe Anual 1975-76. Prueba de Tecnología Región I. 119 p.
- INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS. 1977. Informe Anual Programa de Maíz. 213 p.
- INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS. 1979. Informe Anual Programa de Maíz. 217 p.
- INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS. 1987. Resúmenes de trabajos Técnicos. Guatemala. Tomo I. 258 p.
- INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS. 1987. Evaluación de la variedad de maíz V-304 y la recomendación de fertilización del ICTA por medio de ensayos agro económicos en condiciones de ladera y en 9 localidades del departamento de Chimal-tenango. Informe Técnico Prueba de Tecnología Región V. sp.
- INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS. 1987. Taller de diagnóstico al Programa de Maíz del altiplano. Chimaltenango Septiembre 11. s.p
- INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS. 1987, 1988, 1989. Informes Técnicos del Programa de Maíz. Región V. Chimaltenango. s.p.

- INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS. 1988. Resúmenes de trabajos Técnicos. Guatemala. Tomo II. 292-566 p
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (IGN). 1983. Diccionario Geográfico de Guatemala. Guatemala. Tipografía Nacional.
- ORGANIZACION DE LOS ESTADOS AMERICANOS-MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA (OEA-MAGA). 1994. Proyecto Manejo Sostenido de los Recursos Naturales para Mejorar el Nivel de vida de la Población Rural. Diagnóstico, versión preliminar. Guatemala. 236-263 p.
- OROZCO, C. 1981. Respuesta a la selección familiar en tres poblaciones de maíz del altiplano occidental de Guatemala. Tesis de Grado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía. 62 p.
- REYES, M.; GARCÍA, S.S. 1990. La adopción de la tecnología transferida a través del PROGETTAPS para los cultivos de maíz, frijol arbustivo, trigo, papa y crucíferas: Una evaluación de los primeros dos años de ejecución del proyecto en Chimaltenango. In: Adopción de variedades mejoradas de maíz: La experiencia del PROGETTAPS en Chimaltenango en 1987-88. Tikalia Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. Vol XI No. 1 y 2. Pág. 57-75.
- REYES, M. 1993. Adopción de variedades mejoradas de maíz: La experiencia del PROGETTAPS en Chimaltenango en 1987-88. Tikalia . Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. Vol XI No. 1 y 2. Pág. 57-75

Apéndice A. Modelos de los sistemas productivos agrícolas del Altiplano de Guatemala.

Modelo	Sistema de cultivo	% agricult. que siembran	ha. promedio de siembra	Frecuencia
A	M-F-H	71	0,275	Quezaltenango, Totonicapan y menor frecuencia en Chimaltenango.
	M-F	17	0,264	
	M.monoc.	12	0,198	
B	M-F-H	64	0,510	Quezaltenango (35%), san Marcos (22%), Totonicapan (21%), Chimaltenango (4%)
	M-F	28	0,540	
	M.monoc	8	0,480	
C	M-F-H	53	0,67	Chimaltenango (más importante); Quezaltenango y San Marcos (menos importante)
	M-F	42	0,82	
		5		
D	M-F	50	1,43	Chimaltenango (más frecuente); San Marcos y Quezaltenango (menos frecuente)
	M. monoc	17	2,02	
	M-F-H	17	0,33	

M= Maíz; F=Frijol voluble (*Phaseolus vulgaris*); H=Haba (Vicia faba); M. monoc.= Maíz monocultivo.

Fuente: Encuesta Agrosocioeconómica, Estudio de factibilidad, Proyecto Manejo Sostenido de los Recursos Naturales para mejorar el nivel de vida de la población rural. (OEA-MAGA, 1993)