

Desarrollo del Germoplasma de Maíz para el Altiplano de Guatemala

Mario R. Fuentes

Programa de Maíz, ICTA, Guatemala

Resumen

El área dedicada anualmente al cultivo del maíz (*Zea mays* L.) en Guatemala se calcula en 700,000 ha. El 33% se cultiva en las condiciones del altiplano cuya altura varía entre 1200 y 3000 msnm y que está dividido en dos regiones conocidas como Altiplano Central y Altiplano Occidental. Ambas son ecológicamente contrastantes y presentan alta interacción genotipo *por* ambiente, la cual contribuye a que los cultivares de maíz tengan un rendimiento poco estable y presenten características agronómicas indeseables, como excesiva altura de la planta, mala ubicación de la mazorca, propensión al acame y madurez tardía.

El Programa de Maíz de Guatemala busca generar variedades de grano blanco y amarillo que expresen un potencial grande de rendimiento, características agronómicas deseables y un amplio rango de adaptación a las condiciones ambientales de la región. La metodología comprende la recolección de materiales nativos de maíz dentro de la región, la evaluación en ambientes contrastantes, y la formación de poblaciones. El plan de selección comprende la evaluación de progenies en fincas de agricultores y su recombinación en la estación experimental, donde se amortiguan mejor los cambios ambientales. Con este sistema se han mejorado las poblaciones V-301, V-302, Barcena 71, V-304, V-305, Don Marshall y Chanin, que se adaptan al Altiplano Central; asimismo, las poblaciones San Marceño, Guateian Xela, Compuesto Blanco, Toto Amarillo y Chivarreto, adaptadas al Altiplano Occidental. La respuesta a la selección por rendimiento es positiva y da ganancias hasta de 4.3% por ciclo; da también disminución en la altura de planta y mejor posición de la mazorca. El rendimiento de las variedades mejoradas, en las parcelas de prueba establecidas en los campos de los agricultores, mostró, en promedio, 21% y 41% de incremento respecto al testigo del agricultor, para las regiones del Altiplano Central y Occidental, respectivamente. Informes de la oficina de Socioeconomía Rural indican que las variedades mejoradas han sido adoptadas por el 50% de los agricultores y que éstos han participado en actividades de transferencia de tecnología.

Introducción

El altiplano de Guatemala está situado sobre la Sierra Madre y contiene los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Huehuetenango, Totonicapán y Sololá, que conforman el Altiplano Occidental, y Chimaltenango y Sacatepequez, que llenan el Altiplano Central; ambas regiones ocupan, aproximadamente, 17,711 km² (16% de la superficie del país). El altiplano está localizado en la latitud 14° 39' y en la longitud 90° 49'. En 1985, la población del altiplano se calculaba en 2,502,868 habitantes (30% de la población nacional), o sea, que su densidad era de 141 habitantes/km²; esta población está constituida por diversos grupos étnicos, su nivel de escolaridad es bajo, tiene un alto índice de analfabetismo (50.8%) y hablan con frecuencia las lenguas indígenas.

La región se caracteriza por un predominio del minifundio, por el uso de áreas marginales para cultivos limpios, por los bajos recursos económicos, la subocupación de la mano de obra, los canales de comercialización deficientes, la migración de campesinos y la baja productividad agrícola. Se practica en ella una agricultura de subsistencia basada en sistemas, donde el maíz es el principal componente de asociaciones con frijol, trigo, papa y cucurbitáceas (ICTA 1987c). En los últimos años, la producción de crucíferas, arveja y otras especies hortícolas orientadas al mercado de exportación ha cobrado importancia.

Los suelos del altiplano se formaron sobre un material original de cenizas volcánicas. El relieve varía desde plano hasta fuertemente inclinado. El suelo tiene buen drenaje interno, tiene buena capacidad de abastecimiento de agua, su fertilidad natural es alta y acusa un alto riesgo de erosión.

- El Altiplano Central corresponde a la zona de vida de bosque montano bajo (Bm-B). La precipitación anual es de 1588 mm, la humedad relativa promedio de 80% y la temperatura media de 17.9 °C. Las altitudes varían de 1300 a 2200 msnm.
- El Altiplano Occidental pertenece a la zona de vida de bosque húmedo montano bajo (Bhm-B). La precipitación media anual es de 2065 mm, la humedad relativa de 80% y la temperatura media de 15.5 °C; las altitudes varían de 2300 a 3000 msnm (IGN 1983).

La región es potencialmente forestal; sin embargo, se hace uso de la tierra para cultivos en un 71% a 93% del área. Varían las modalidades tecnológicas de producción agrícola del altiplano. El uso de germoplasma nativo de maíz (también llamado criollo) predomina en el área; el maíz se cultiva tanto asociado (85%) como en monocultivo (15%) (ICTA 1977). En general, los agricultores del altiplano siembran el maíz bajo condiciones de humedad residual antes de la llegada de las lluvias. La preparación del suelo se hace inmediatamente después de la cosecha para conservar la humedad. La siembra se hace entre marzo y abril, pero la fecha varía según la localización de la unidad de producción y el ciclo del cultivo.

Sistemas de producción

Se han identificado cuatro modelos de sistemas productivos agrícolas del altiplano (OEA-MAGA 1994).

Modelo A: Marginales y de frontera

Representa a los agricultores pertenecientes al grupo de supervivencia. La producción del predio se agota en el autoconsumo y trabajan fuera de la finca para satisfacer sus necesidades básicas. El área promedio de la finca es de 0.46 ha. Los principales productos son los granos básicos, las especies nativas, las hortalizas, las especies para el ganado menor y las especies forestales que tienen fines energéticos. El modelo se presenta con mayor frecuencia en Quetzaltenango y Totonicapán y menos en Chimaltenango.

Modelo B: Pequeños productores internos

Corresponde a los agricultores que se hallan en la transición hacia la diversificación de cultivos. La producción es para consumo familiar y los excedentes para vender en el mercado local de nivel municipal. Emplea sistemas de cultivo de especies de granos básicos en monocultivo y asociadas, de hortalizas y de frutales. Está presente en el 53% de las fincas de Quetzaltenango y en el 22%, 21% y 4% de las fincas de San Marcos, Totonicapan y Chimaltenango, respectivamente. El área promedio de esas fincas es de 1.25 ha.

Modelo C: Productores medianos externos

Representa a los agricultores que diversifican la producción de sus predios. Producen para el consumo, en menor grado, y a mayor escala para vender en el mercado nacional e internacional. Emplea sistemas de cultivo de especies de granos básicos asociadas y de monocultivo. La asociación maíz-frijol-haba (M-F-H) se cultiva en el 53% de las fincas de Chimaltenango, y el área promedio de éstas es de 0.67 ha. En Quetzaltenango y San Marcos es menos importante este modelo. La diversificación de la producción se hace con hortalizas de exportación y con hortalizas para el consumo local.

Modelo D: Productores medianos extensivos

Corresponde a los agricultores del sistema de producción de transición hacia la especialización agrícola. El destino de la producción es el consumo, la venta, el procesamiento y la exportación. El área promedio de las fincas es de 10.17 ha. Emplea sistemas de cultivo de especies de granos básicos en monocultivo y asociadas, de hortalizas y de frutales. La asociación maíz-frijol (M-F) se cultiva en 50% de las fincas cuya área promedio es de 1.43 ha; es más frecuente en Chimaltenango y menor en San Marcos y Quetzaltenango. Donde hay cultivos de exportación, como brócoli y arveja china, se incrementan su frecuencia y el área cultivada. Esta descripción de los modelos y las áreas respectivas se presenta en el **Cuadro 1**.

El altiplano varía en sus condiciones de topografía, fertilidad, temperatura, precipitación, suelo y amplia diversidad ambiental, lo que impide hacer recomendaciones de amplia cobertura. La mayoría de los agricultores siembra variedades nativas de maíz cuyas características principales son: potencial de rendimiento variable; tardías (hasta 280 días); poca adaptación a la diversidad ambiental, posiblemente a causa del proceso de selección tan específico a que han sido sometidas durante muchos años; excesiva altura de la planta y de la mazorca, especialmente bajo condiciones de alta fertilidad; y susceptibilidad al acame.

Necesidades y estrategias

El manejo agronómico del maíz varía entre agricultores y entre regiones. Hay diversidad de sistemas de asociación o relevo con otros cultivos, de distancias de siembra, de arreglos topológicos, de fertilización, de abonos orgánicos usados, de épocas de siembra y de preparación del suelo.

El Programa de Maíz llegó a la conclusión, en 1973, de que no se podrían obtener aumentos importantes del rendimiento si no se trabajaba en la disminución de la altura de la planta y en la selección de familias rendidoras, para conformar así poblaciones estables a través de los ambientes.

La estrategia se basaba en reconocer la importancia del germoplasma nativo como fuente de genes para desarrollar cultivares adaptados a regiones contrastantes del altiplano. Requería, por tanto, las siguientes acciones:

- hacer recolección de germoplasma nativo en las regiones escogidas del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA);
- evaluar las colecciones tanto en la estación experimental como en los campos de los agricultores para conformar poblaciones partiendo de materiales que presentaban desempeño superior en la evaluación;
- realizar el mejoramiento sistemático de las poblaciones a través de selección fraternal convergente hacia la adaptación a ambientes contrastantes, para minimizar el efecto de la interacción genotipo *por* ambiente (ICTA 1976a; 1987a).

El objetivo principal del Programa de Maíz puede enunciarse así:

Evaluar la diversidad genética del germoplasma nativo, identificar en él materiales que sirvan de base para el mejoramiento genético del cultivo, y desarrollar con ellos variedades de alto potencial de rendimiento, de características agronómicas deseables y con amplia adaptación a las condiciones ambientales del altiplano de Guatemala; de este modo contribuirá a maximizar la productividad del cultivo en las distintas regiones del altiplano.

Metodología

El Programa de Maíz trabaja en dos estaciones experimentales del ICTA: la del Altiplano Central, ubicada en Chimaltenango, que cubre los departamentos de Sacatepequez y Chimaltenango para atender localidades ubicadas entre 1200 y 2200 msnm. La del Altiplano Occidental (estación Labor Ovalle) ubicada en Quetzaltenango, que cubre los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango y Totonicapan, cuyas localidades están entre 2300 y 3000 msnm. Se dispone de equipos de prueba de tecnología para cada región del altiplano, que apoyan las actividades del Programa de Maíz en la evaluación de germoplasma en el campo del agricultor. Para cumplir con los objetivos propuestos por el Programa de Maíz, a partir de 1973 se diseñó (Figura 1) el esquema del Sistema Dinámico de Mejoramiento de Maíz para el altiplano (ICTA 1976b).

Este sistema comprende la evaluación de progenies en fincas de los agricultores y la selección en la estación experimental para amortiguar los cambios ambientales aplicando el método de selección familiar de mazorca por surco modificado; este método permite la acumulación de efectos aditivos respecto al rendimiento alto, a la reducción de altura de la mazorca y de la planta, y a otras

características agronómicas. Se seleccionan, por tanto, individuos partiendo de la evaluación de progenies en los ensayos de rendimiento. Bolaños (1980) trae una cita en que Poey describe el método así:

- se siembran las familias en seis localidades, por lo menos, en surcos individuales de 5 m;
- se toman en las familias datos agronómicos y de rendimiento que, una vez integrados, establecen el criterio de selección de familias en el lote de recombinación de la estación experimental;
- no se siembran repeticiones y su efecto se compensa colocando testigos en forma sistemática para relacionar los valores obtenidos en las familias dentro de una estratificación adecuada y estandarizar así el efecto ambiental;
- los lotes de recombinación pueden ser de medios hermanos (MH) ó hermanos completos (HC) y cada ciclo debe producir, por lo menos, 250 familias que serán nuevamente evaluadas en los campos de los agricultor en el siguiente ciclo;
- las hileras obtenidas de cada mazorca se emasculan en el bloque y se siembran hileras de machos formados por un compuesto equilibrado de todas las familias de mazorca por hilera: se logra así la máxima recombinación entre las familias seleccionadas completando un ciclo cada año;
- se selecciona el 20% de las familias y, dentro de ellas, las cinco mejores plantas: éstas servirán para las pruebas del año siguiente;
- el diferencial de selección comprende diferencias entre las familias y dentro de ellas.

La restricción en el número de familias que pueden compararse resulta en intensidad y en un diferencial de selección reducido; se compensa, sin embargo, con la menor desviación estándar fenotípica que se produce porque se controla mejor la contribución ambiental al hacer repeticiones de las familias en varias localidades (Bolaños 1980).

Poey introdujo en 1977 las siguientes variantes a esta metodología (Bolaños 1980) para ampliar la base genética de las poblaciones sujetas a mejoramiento:

- a la selección de MH se le incorporan familias de origen diferente, llamadas familias de soporte, que se siembran junto al lote de recombinación;
- en la generación F_1 , estas familias se retrocruzan con la población básica para recuperar las características deseables de ésta;
- enseguida se someten las familias a un ensayo de rendimiento en dos localidades, por lo menos, para seleccionar las mejores e introducir las en la población básica: así se incorporan al compuesto equilibrado al recombinarlas;

- se incluye en esta selección del 4% al 6% del total de familias de la población que se está mejorando y se introducen solamente las que tengan un diferencial de selección superior al 15%, para capitalizar efectos aditivos.

En esta etapa, los efectos heteróticos pueden manifestarse todavía. A partir de 1985, se realizó un ciclo de selección recurrente de líneas S_1 en las poblaciones que estaban en mejoramiento. Se generaron 400 líneas por población, las cuales se evaluaron a nivel de la estación experimental. La población se reconstituyó con el 20% de la fracción superior y se formaron variedades sintéticas con las primeras cinco a ocho líneas en la escala de la evaluación (Fuentes 1990).

La selección familiar de progenies autofecundadas es recomendable cuando se necesitan avances genéticos rápidos en las poblaciones y cuando se presume que las variedades tienen una varianza genética reducida (Bolaños 1980). Cada una de las poblaciones del altiplano se sometió inicialmente al sistema de Unidad de Divergencia Ambiental (UDA). Este sistema selecciona y recombina en dos ambientes diferentes: en alta densidad (88,000 plantas/ha) se selecciona por la capacidad de competencia de la planta y en la baja densidad (44,000 plantas/ha), por el potencial de rendimiento. Las polinizaciones se hacen en la densidad baja. Durante el período vegetativo se seleccionan las plantas según su fenotipo, y en la cosecha se evalúan por su comportamiento. Se selecciona hasta un 20% de familias de características superiores. Con este sistema se han seleccionado familias cuyas plantas han descendido 1 m en altura y de 15 a 30 días en su período vegetativo; pertenecían a genotipos adaptados a las regiones del altiplano (ICTA 1977).

Resultados

La base de las poblaciones de maíz generadas para el altiplano proviene de germoplasma nativo recolectado en diferentes zonas geográficas de la región por el Programa de Maíz y los equipos de Prueba de Tecnología; este germoplasma ha sido evaluado extensivamente y se ha usado como material básico o de soporte. Se calcula que se han evaluado, en total, 829 colecciones nativas para el grupo de grano amarillo y 483 para el de grano blanco (Barrios-Berreondo 1969; ICTA 1976a; Fuentes 1986). En el **Cuadro 2** se presentan el origen, la localidad de recolección, el último ciclo de selección, el color del grano y la adaptación de las poblaciones de maíz formadas a partir de la evaluación del germoplasma nativo. Las poblaciones San Marceño, Guateian Xela y Compuesto Blanco fueron generadas por el programa de investigación del Instituto Agropecuario Nacional (IAN) y sometidas posteriormente al proceso de selección propuesto por el ICTA. En el Altiplano Central se evaluaron 95 colecciones de maíz de la región (ICTA 1977): los 10 mejores criollos superaron al testigo Bárcena 71 y V-301 (3019 y 3845 kg/ha, respectivamente) en un margen que va del 41% al 71% (4269 a 5162 kg/ha). Estos datos no se presentan en el **Cuadro 2**. La fracción superior de estos materiales se evaluó durante 2 años consecutivos (1977 y 1978), en 10 y 9 localidades, respectivamente (**Cuadro 3**).

Las variedades Criollo 34, Amarillo Patzicia, Criollo 48, Criollo 89 y Amarillo Balanyá exhibieron las siguientes características: mayor potencial de rendimiento

(hasta 4580 kg/ha), estabilidad ($b_i = 1$ y $S^2d_i = 0$), características agronómicas deseables y rendimiento superior (20% más que las variedades mejoradas y 500 kg/ha más que la media de las mejores variedades criollas). Los resultados obtenidos permitieron recomendar la formación de la población V-304 partiendo de las variedades Criollo 34, Criollo 48 y Criollo 89. Las variedades Criollo Blanco 5-76 y Criollo 4 Amarillo Chimaltenango superaron con 5100 y 4800 kg/ha al criollo local (14% y 10% más que éste), en varias regiones del valle de Chimaltenango. La variedad Criollo Blanco 5-76 se convirtió en soporte de la población V-301, y Criollo 4 Amarillo Chimaltenango conformó la población V-302.

Esta evaluación permitió conocer la adaptación de las variedades criollas a regiones homogéneas y dividir, por ello, el Altiplano Central en dos: la alta (1800-2200 msnm) y la baja (1300-1800 msnm) (ICTA 1979). En el **Cuadro 4** se presentan los materiales superiores del germoplasma de maíz evaluado durante los años 1977 y 1978 en 31 localidades del Altiplano Occidental. Las variedades San Marceño y Criollo 252-76 se consideraron estables y superaron en rendimiento a los criollos locales, hasta en 590 kg/ha, en las localidades de Quetzaltenango.

Los parámetros de estabilidad ($b_i = 1$ y $S^2d_i = 0$) confirman esa estabilidad. San Marceño dio, en promedio, 5510 kg/ha y superó al Criollo 605-76 en 660 kg/ha en la subregión de Quetzaltenango; lo contrario ocurrió en la región de Totonicapan, donde el Criollo 605-76 superó en 720 kg/ha a San Marceño. Partiendo de esta evaluación, se delimitó el área de adaptación de San Marceño y se recomendó formar la población Toto Amarillo, teniendo como base el germoplasma del Criollo 605-76; esta población se someterá luego al proceso de mejoramiento.

En el **Cuadro 5** se presentan las medias de rendimiento de las mejores variedades, introducidas y criollas, que se identificaron para el Altiplano Occidental y que fueron evaluadas en diferentes localidades, en las fincas de los agricultores, entre 1978 y 1982. Las variedades mejoradas superaron, en promedio, hasta en un 14% al testigo local. La sección Prueba de Tecnología evaluó diferentes variedades criollas en diferentes ambientes situados entre 2600 y 2800 msnm y distribuidos en Quetzaltenango, San Marcos y Totonicapan. El Criollo 612 mostró un rendimiento consistente (4000 a 5060 kg/ha) a través de los años en evaluaciones hechas en la zona alta del Altiplano Occidental. En 1982, este material conformó la base la población Chivarreto (ICTA 1987a).

Prueba de Tecnología y el Programa de Maíz evalúan constantemente el germoplasma nativo. Las evaluaciones comprenden germoplasma local y de zonas adyacentes y en ellas se identifica el material de características superiores que se usa para hacer introducciones. La metodología empleada permitió identificar colecciones de rendimiento similar o superior al de los testigos y con menos días hasta la floración femenina; estos materiales se han empleado como soporte de las poblaciones generadas (ICTA 1987; 1989).

El avance en selección obtenido mediante esta metodología de mejoramiento en las poblaciones de maíz se presenta en el **Cuadro 6**.

- En el *Altiplano Central*, los ciclos de selección de las poblaciones V-301 y V-302, evaluadas en cuatro localidades, indican que, en total, se capitalizó 10% en rendimiento con incrementos de 440 y 410 kg/ha, respectivamente. Con este método se seleccionaron plantas de menor altura, de mejor posición de la mazorca y con menos días hasta la floración. La altura de la planta y de la mazorca se redujeron en 86 y 40 cm, respectivamente, en la población V-301, y la floración femenina se acortó en 12 días. En V-302, la altura de la planta se redujo en 40 cm; no se modificó la altura de la mazorca. Los días hasta la floración femenina disminuyeron 12 días en esta variedad. En general, las restantes características agronómicas se mantuvieron uniformes (Fuentes y Landaverry 1987).
- En el *Altiplano Occidental*, la evaluación de los ciclos de selección de las poblaciones indica incrementos por ciclo de selección de 4.2%, 4.0%, 4.3%, 1.7% y 1.1% en San Marceño, Compuesto Blanco, Guateian Xela, Toto Amarillo y Chivarreto, respectivamente. Estos porcentajes representan incrementos totales de 1144, 1252, 671, 430 y 280 kg/ha sobre la media original. Los parámetros altura de planta y altura de mazorca, en San Marceño, se redujeron en 30 y 28 cm, respectivamente, y se mejoró el porcentaje de mazorcas con buena cobertura; no ocurrió lo mismo en las otras poblaciones (Avila y Fuentes 1987; Orozco 1981).

Las características agronómicas de las variedades derivadas de las poblaciones que están en mejoramiento se presentan en el **Cuadro 7**. Se ha obtenido en ellas mayor rendimiento, uniformidad respecto a altura de planta y altura de la mazorca, sanidad foliar y menor número de días hasta la floración.

Las variedades Don Marshall y Chanin, formadas con germoplasma local y con introducciones del CIMMYT, son precoces y de porte bajo (2 meses más precoces que los criollos y 1.5 m más bajas que éstos); fueron desarrolladas para el Altiplano Central. Se emplean en cultivos asociados y en siembras intercaladas, y tienen más ventajas que las variedades criollas. Si se siembran en marzo, pueden cosecharse en agosto y permiten así sembrar trigo u hortalizas en segunda cosecha (o ambos cultivos), lo que incrementa la productividad del sistema (Córdova y Poey 1980).

Se hicieron cruzamientos interpoblacionales como una alternativa para ampliar la base genética; estos cruces se incluirán, como generaciones avanzadas, en las poblaciones que están en mejoramiento y se seleccionarán por rendimiento, precocidad y adaptación (Bolaños 1980; ICTA 1977; 1979). Algunos de estos cruces tienen buenas perspectivas. Algunos cruzamientos intervarietales realizados en Chimaltenango en 1977 registraron heterosis hasta el nivel de 25% y 44% sobre V-301 y Bárcena 71 (cruzados con Mix 1 Tuxpeño) (ICTA 1977).

Algunos materiales de maíz del Altiplano Central fueron cruzados con fuentes de precocidad y porte bajo introducidas del CIMMYT; son, entre otros, Pool 27, Pool 34, Pool 33, Amarillo Bajillo, Amarillo Bajillo x mezcla tropical blanca, Aed x Tuxpeño. Los cruces presentaron de 75 a 100 días hasta la floración femenina y se incorporaron como material de soporte de la población Chanin

(Bolaños 1980). Los cruzamientos de San Marceño y Compuesto Blanco con materiales locales e introducidos dieron rendimientos que superan entre 17% y 27% a San Marceño y entre 12% y 22% al Compuesto Blanco. El mestizaje entre materiales de la zona media y de la zona alta mostraron heterosis que supera hasta en 44% a San Marceño, el mejor testigo. Los mejores rendimientos se registraron en los cruces Compuesto Blanco-18 *por* V-301 y en la generación (B-71 *por* San Marceño) F2 (ICTA 1977).

Los cruzamientos intervarietales entre variedades criollas del Altiplano Occidental con materiales del CIMMYT no presentaron diferencias significativas (ni mejoras) en sus características agronómicas con respecto a San Marceño y al Compuesto Blanco. Los cruces intervarietales presentaron 20 días menos en el tiempo hasta la floración en relación con Guateian Xela, pero no lo superaron en rendimiento (ICTA 1979). El CIMMYT ha desarrollado germoplasma de maíz para condiciones de altiplano. Las evaluaciones preliminares indicaron bajo rendimiento, alta incidencia de enfermedades foliares y poca adaptación en comparación con los testigos en las condiciones del altiplano de Guatemala (ICTA 1979). En evaluaciones posteriores, el nuevo germoplasma presentó buen comportamiento agronómico y tolerancia a enfermedades foliares. Se destacaron en el Altiplano Occidental los materiales Pool 12a, Comp. I QPM y Pool 13a que mostraron un rendimiento entre 5769 y 6776 kg/ha, menor altura de planta y de mazorca; superaron hasta en 18% al testigo Toto Amarillo, que rindió 5714 kg/ha (Avila y Fuentes 1987).

En el Altiplano Central, los materiales Pool 1A, Pool 9A, Pool 9B, Batan 8788 y Batan 8736, al mestizarse con las variedades Don Marshall blanco, Don Marschall amarillo y Chanin, rindieron hasta 7890 kg/ha, lo que equivale a un 35% más que la variedad Don Marshall; registraron, además, 94 días hasta la floración femenina (Alarcón y Fuentes 1991).

La parcela de prueba consiste en poner en manos del agricultor la alternativa tecnológica, y éste la maneja y la evalúa comparándola con su tecnología tradicional.

En el Altiplano Central, las variedades evaluadas en diferentes localidades y años superaron en rendimiento a la variedad del agricultor por 370 a 520 kg/ha (12% a 18%, respectivamente). En el Altiplano Occidental, por su parte, el rendimiento de la variedad del agricultor fue superado en 240 a 968 kg/ha (6% a 27%). Los datos se presentan en el **Cuadro 8**.

El Proyecto de Generación y Transferencia de Tecnología y Producción de Semillas (PROGETTAPS) se inició en 1987. Fue planeado para consolidar los servicios de investigación y transferencia de tecnología que presta el sector público agrícola. La ejecución del proyecto fue responsabilidad del ICTA y de la Dirección General de Servicios Agrícolas (DIGESA) en lo que respecta al componente agrícola. El proyecto integró en el proceso de investigación y transferencia de tecnología a investigadores, expertos en transferencia y agricultores. Cada 'módulo' estaba integrado por un investigador de la sección Prueba de Tecnología del ICTA, por un promotor agrícola de DIGESA y por 10 representantes agrícolas (RA); éstos participaron activamente en los trabajos de prueba, adopción, integración y

transferencia de tecnología y generaron un efecto multiplicador (Córdova et al. 1992; Reyes 1993). Con estos módulos se transfirieron las variedades de maíz generadas para el altiplano (Cuadro 8) y entre 1987 y 1988 se manejaron 469 parcelas de transferencia en monocultivo y en asociación (M-F); en otros casos se transfirieron técnicas de fertilización química.

- En el *Altiplano Central*, la diferencia, en rendimiento, de la tecnología propuesta respecto a la del agricultor varió entre -96 a 1475 kg/ha. Se observaron diferencias en la evaluación (en asociación y en monocultivo) de 248 y 1571 kg/ha para 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, en las condiciones del agricultor.

Como parte de las estrategias y mecanismos para apoyar la transferencia de tecnología, PROGETTAPS desarrolló la actividad de producción artesanal de semilla mejorada. Los agricultores cuyas áreas de producción se encuentran aisladas en laderas de suelos pobres no tienen acceso a la semilla proveniente de los sistemas convencionales o formales de producción de semilla, por dos razones: una, porque no son sujetos de crédito, y otra, porque la industria semillista no se interesa por regiones donde las ganancias no son atractivas (Córdova 1990). Esta actividad fue ejecutada por técnicos de DIGESA que apoyaban a pequeños productores en áreas donde no había disponibilidad de semilla mejorada. Los pequeños productores tuvieron así acceso a cantidades suficientes de la semilla que les interesaba.

La nueva industria semillista se desarrolló en núcleos de pequeños agricultores convertidos en miniempresarios potenciales que producían semilla para autoconsumo. Así se lograba que la semilla producida en estas comunidades tuviera muchas posibilidades de quedarse entre los agricultores de esos mismos lugares (Córdova et al. 1992). Entre 1987 y 1988 se establecieron 40 y 76 parcelas de semilla artesanal en el Altiplano Central y en el Occidental, respectivamente, en diferentes localidades (Godínez et al. 1990; Reyes 1993).

Reyes (1993) y Godínez et al. (1990) informan sobre la adopción de las variedades transferidas a través de PROGETTAPS en los primeros 2 años de ejecución de ese proyecto en el altiplano. Los agricultores se clasificaron en cuatro poblaciones: los que manejaban parcelas de transferencia, los que manejaban parcelas de semilla artesanal, los que no atendían parcelas pero participaban en actividades de promoción, y los que no habían participado en la ejecución de PROGETTAPS.

La adopción de la tecnología se midió según el porcentaje de agricultores que sembraron las variedades recomendadas y según el porcentaje del área maicera en que éstas fueron sembradas; se calculó así un coeficiente llamado efecto multiplicador estimado (EFE). Los diferentes factores que inciden en la adopción se analizaron mediante la regresión múltiple (Reyes 1993).

- Para el *Altiplano Central* se calculó una adopción de 53% de las variedades en los agricultores que participaron en las actividades de transferencia y de 48% en los que participaron en las de promoción.
- En el *Altiplano Occidental* se calculó una adopción de 57% en los agricultores que participaron en las parcelas de transferencia y de producción de semilla, y de 59% en los que participaron en promoción.

Las parcelas de semilla acusan el efecto favorable más fuerte; éstas y las de transferencia registran un efecto multiplicador de 2.55 y 0.96 para el Altiplano Central y el Occidental, respectivamente. A la adopción de variedades de maíz contribuyen factores como el manejo de parcelas para semilla, el tamaño de la familia y la actividad económica principal del agricultor. Las giras y las reuniones no fueron más eficaces que otros mecanismos de promoción que emplearon los RA, tales como ubicar las parcelas en lugares visibles o establecer comunicación personal con los agricultores. La disponibilidad de semilla desempeñó un papel clave en la adopción de variedades y hay un margen de mayor adopción que no fue cubierto porque no había semilla en el campo.

Conclusiones

- La estrategia de investigación basada en el uso de germoplasma nativo para desarrollar variedades de polinización libre ha sido efectiva y ha obtenido logros significativos en rendimiento, adaptación y características agronómicas.
- El método de selección familiar afectó positivamente el rendimiento. Se obtuvieron incrementos de 440 y 410 kg/ha para V-301 y V-302, respectivamente, en el Altiplano Central; y aumentos de 1144, 1252, 671, 480 y 280 kg/ha para San Marceño, Compuesto Blanco, Guateian Xela, Toto Amarillo y Chivarreto, respectivamente, en el Altiplano Occidental.
- Se redujo significativamente la altura de la planta y la posición de la mazorca (hasta en 86 y 80 cm, respectivamente) en las poblaciones de V-301, V-302 y San Marceño.
- La evaluación de variedades mejoradas en las parcelas de prueba y en las de transferencia superó al testigo local, en promedio, en 968 y 1478 kg/ha, respectivamente.
- El desarrollo de variedades precoces es una alternativa que puede emplearse en los sistemas de producción en que hay un uso intensivo del suelo y se desea incrementar la productividad.
- La adopción de variedades mejoradas fue de 53% y de 57% para el Altiplano Central y el Occidental, respectivamente, en agricultores que participaron en actividades de transferencia de tecnología; el valor respectivo del efecto multiplicador registrado por ellos mismos fue de 2.55 y 0.96.

- La producción artesanal de semilla hace disponibles las semillas que requiere el pequeño agricultor y es un mecanismo que influye en su decisión de adoptar las variedades mejoradas.

Referencias

- Alarcón H.; Fuentes M.R. 1991. Determinación de la aptitud combinatoria general del germoplasma introducido y sus efectos en la formación de híbridos de maíz. En: Informe técnico del Programa de 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. En: Informe técnico del Programa de Maíz, Región I. Ciudad de Guatemala. [s.p.]
- Barrios-Berreondo R. 1969. Evaluación de maíces criollos como fuente de germoplasma en el altiplano de Guatemala. Tesis. Instituto de Tecnología Agropecuaria (ITA), Bárcenas, Guatemala. 51 p.
- Bolaños M. J.A. 1980. Selección familiar convergente aplicada a una población de maíz del altiplano medio de Guatemala. Tesis. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala. 55 p.
- Córdova H. 1990. Desarrollo mediante el mejoramiento por resistencia a factores adversos bióticos y abióticos y producción de semillas: Estrategias y logros. En: Programa Regional de Maíz (PRM), Desarrollo y mejoramiento de germoplasma por resistencia a factores adversos, Guatemala. p 1-15.
- Córdova H.; Poey F. 1980. Cuatro años de investigación sobre maíz en Guatemala. Informe final. Proyecto USAID-Gobierno de Guatemala. Ciudad de Guatemala. 59 p.
- Córdova H.; Quemé J.L.; Rosado P. 1992. Producción artesanal de semilla de maíz para el pequeño agricultor en Guatemala. 2a. ed. Ciudad de Guatemala. 27 p.
- Fuentes L. M.R. 1986. Evaluación de 111 colecciones del Proyecto LAMP. En: Informe técnico del Programa de Maíz. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), Chimaltenango, Guatemala. [s.p.].
- Fuentes L. M.R. 1990. Avances en el programa de mejoramiento por precocidad y rendimiento en la población de maíz Don Marshall de grano amarillo. XXXVII Reunión Anual del PCCMCA, Panamá. [s.p.].
- Fuentes L. M.R.; Landaverry E. 1987. Efecto de selección familiar sobre el rendimiento y las características agronómicas. En: Informe técnico del Programa de Maíz, Región V. Chimaltenango, Guatemala. [s.p.].
- Godínez L.; Tucux M.; Mejía G.; Juárez L. 1990. Estudio de adopción de la tecnología transferida por el sistema modular de PROGETTAPS en Quetzaltenango y Totonicapán en 1988-89. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), Guatemala. p 88-120.
- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas). 1976a. Informe anual: junio 1974-julio 1975. Ciudad de Guatemala. 258 p.

- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas). 1976b. Equipo de Producción A: Informe anual 1975-76. Prueba de Tecnología Región I, Ciudad de Guatemala. 119 p.
- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas). 1977. Informe anual del Programa de Maíz. Ciudad de Guatemala. 213 p.
- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas). 1978. Informe anual del Programa de Maíz. Ciudad de Guatemala. 213 p.
- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas). 1979. Informe anual del Programa de Maíz. Ciudad de Guatemala. 217 p.
- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas). 1986. Resúmenes de trabajos técnicos. Guatemala. Tomo I, 200 p.
- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas). 1987a. Resúmenes de trabajos técnicos. Guatemala. Tomo II, 258 p.
- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas). 1987b. Evaluación de la variedad de maíz V-304 y recomendación de fertilización del ICTA: Ensayos agroeconómicos en condiciones de ladera en 9 localidades del departamento de Chimaltenango. Informe técnico. Prueba de tecnología ICTA Región V, Guatemala. [s.p.].
- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas). 1987c. Taller de diagnóstico del Programa de Maíz del altiplano. Chimaltenango, Guatemala. [s.p.].
- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas). 1987-1989. Informe técnico del Programa de Maíz: Región V. Chimaltenango, Guatemala. [s.p.].
- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas). 1988. Resúmenes de trabajos técnicos. Guatemala. Tomo III, p 292-566.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional). 1983. Diccionario geográfico de Guatemala. Tipografía Nacional, Ciudad de Guatemala.
- OEA (Organización de los Estados Americanos) y MAGA (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 1993. Proyecto de manejo sostenido de los recursos naturales para mejorar el nivel de vida de la población rural: Encuesta agro-socioeconómica y estudio de factibilidad. Ciudad de Guatemala.
- OEA (Organización de los Estados Americanos) y MAGA (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 1994. Proyecto de manejo sostenido de los recursos naturales para mejorar el nivel de vida de la población rural: Diagnóstico, versión preliminar. Ciudad de Guatemala. p. 236-263.
- Orozco C. 1981. Respuesta a la selección familiar de tres poblaciones de maíz del Altiplano Occidental de Guatemala. Tesis. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 62 p.
- Reyes H.M. 1993. Adopción de variedades mejoradas de maíz: La experiencia de PROGETTAPS en Chimaltenango en 1987-1988. Universidad de San Carlos de Guatemala. Tikalia (Guatemala) 11(1-2):57-75.