

**MEJORAMIENTO
DE LA
ADAPTACION
Y DE LA
CONFIABILIDAD
DE LOS
RENDIMIENTOS
DE MAIZ
EN EL MUNDO
EN DESARROLLO**

R.L. Paliwal y Ernest W. Sprague

**MEJORAMIENTO DE LA ADAPTACION Y DE LA
CONFIABILIDAD DE LOS RENDIMIENTOS DE
MAIZ EN EL MUNDO EN DESARROLLO^{1/}**

R. L. Paliwal* y Ernest W. Sprague**

* Director Asociado del Programa de Maíz del CIMMYT

** Director del Programa de Maíz del CIMMYT

^{1/} Una versión anterior de este trabajo fue presentada en la Conferencia Técnica sobre la Producción de Semilla Mejorada, FAO/SIDA, Nairobi, Kenia, 2-6 de junio de 1981.

RESUMEN

Este trabajo se concentra en los problemas del mejoramiento de maíz en los trópicos. Los estudios sobre la herencia de los caracteres del maíz han contribuido en forma significativa a la comprensión de la genética cualitativa y de la cuantitativa, así como de sus aplicaciones para el mejoramiento de los cultivos. El cultivo del maíz ha sido sometido a un intenso y extenso mejoramiento genético, tanto a través del desarrollo como del mejoramiento de poblaciones de maíz y de variedades de polinización libre, así como a través de la utilización de la heterosis y de la producción de diferentes clases de híbridos. Estudios teóricos sobre la genética cuantitativa del maíz han proporcionado lineamientos no sólo para el mejoramiento del maíz, sino también para muchos otros cultivos de polinización cruzada o que se prestan para la aplicación de técnicas de cruzamiento.

Los autores hacen hincapié en la necesidad de desarrollar y mantener conjuntos germoplásmicos y poblaciones con una amplia base genética. Describen el sistema contínuo del CIMMYT, en el cual los materiales se agrupan en conjuntos germoplásmicos que están sometidos a proceso de mejoramiento continuo, el avance de materiales deseables a poblaciones más específicas y el refinamiento de selecciones superiores para producir variedades estables de alto rendimiento.

Los ensayos internacionales desempeñan un papel muy importante dentro de este sistema. Se prueban los materiales tan pronto como se estima que pueden ofrecer germoplasma superior a los programas de los países participantes y también cuando los materiales se encuentran en diferentes etapas de avance. Los colaboradores nacionales pueden usar estos materiales en cualquier etapa de desarrollo y seleccionarlos para formar variedades experimentales. A fin de asegurar el mantenimiento de la adaptación más amplia y de la estabilidad de rendimiento, las variedades experimentales se forman también con base en la selección de los materiales superiores a través de todas las localidades de prueba.

En comparación con la metodología recomendada, los híbridos requieren de un período más largo de desarrollo antes de obtener cualquier producto que pueda ser usado. También, las variedades experimentales se pueden comparar favorablemente con los híbridos, en cuanto a potencial de rendimiento y otros atributos deseables al mismo tiempo (después del mismo período). Además, mientras que la semilla de los híbridos tiene que ser renovada para cada siembra a efecto de mantener los altos rendimientos, la semilla de las variedades puede ser obtenida de la cosecha anterior durante varios ciclos, con ciertas precauciones.

Los autores describen la investigación del CIMMYT encaminada a mejorar la eficiencia de la producción de grano del maíz tropical, incrementar su tolerancia a la sequía, su resistencia a los ataques de plagas y enfermedades y a mejorar su calidad nutricional.

El trabajo concluye con una serie de consideraciones importantes, las cuales deben tomarse en cuenta si los rendimientos del maíz en los trópicos han de aumentarse substancialmente.

Antecedentes del mejoramiento y la producción del maíz en los trópicos

El maíz se ha difundido desde su centro de origen en Mesoamérica (la zona tropical de América Latina), hasta casi todas las áreas tropicales del mundo, así como a regiones templadas con latitudes de hasta 65° tanto al norte como al sur, y altitudes desde el nivel del mar hasta 3,000 msnm. Sin embargo, el maíz ha alcanzado los niveles más altos de producción en las áreas templadas, usando las técnicas agrícolas modernas. Aunque aproximadamente la mitad de la superficie productora de maíz del mundo se siembra en los países en desarrollo de África, América Latina y Asia, solamente se levanta una cuarta parte de la cosecha mundial en ellos. Los rendimientos promedio en estas áreas son inferiores a 1.5 ton/ha.

¿Por qué existe esta diferencia de rendimiento promedio entre las regiones templadas y las tropicales del mundo? Una razón es que el maíz se cultiva con niveles mucho más altos de manejo tecnológico en la mayoría de los países productores en las zonas templadas del mundo. En contraste, en la mayor parte de los países tropicales, el maíz es un cultivo que depende de la lluvia en la estación cálida, se produce bajo condiciones variables de humedad, generalmente sujeto a sequías periódicas o erráticas y/o a excesos de agua en las diferentes etapas de su desarrollo, sin un control efectivo de insectos, malezas y enfermedades, y que de ordinario se cultiva bajo condiciones de baja fertilidad. Comúnmente es un cultivo de subsistencia, con niveles bajos de manejo y pocos insumos.

En las áreas del mundo tropical en donde el maíz se cultiva bajo riego (sin depender enteramente de las lluvias), con insumos y manejo adecuados, su producción es bastante alta. Por ejemplo, no es raro encontrar rendimientos de cinco a seis toneladas por hectárea en el Valle del Nilo, Egipto o en la India, con el maíz que se cultiva durante el invierno. Sin embargo y con grandes diferencias, los niveles de rendimiento de los trópicos no se asemejan a los rendimientos promedio que se obtienen en las regiones templadas.

Existen otras razones, aparte de los niveles de insumos y de manejo, que contribuyen a que se obtengan bajos rendimientos de maíz en los trópicos. Generalmente, la planta de maíz tropical no es eficiente para producir grano. Estas plantas son muy altas, tienen mucho follaje y tienden a acamarse. Tienen una panoja muy grande, una relación baja de grano/paja, y responden menos a las altas densidades de siembra y mejor manejo que las plantas de maíz de las zonas templadas.

Asimismo, el trabajo de mejoramiento de maíz en la mayor parte de los países tropicales ha sufrido dos serias desventajas. Primero, la investigación empezó tarde, lenta, y con recursos y facilidades muy limitados. Segundo, la mayoría de los programas nacionales de mejoramiento tuvieron la desventaja de disponer sólo de germoplasma con base genética muy reducida.

Durante la década de los cuarentas, se desarrolló el maíz híbrido, lo cual ha constituido uno de los principales logros genotécnicos de este siglo. Los híbridos han revolucionado la producción de maíz y la agricultura comercial, primero en los Estados Unidos, y posteriormente en Europa. Después del éxito obtenido en las áreas templadas, muchos programas nacionales de países del mundo en desarrollo iniciaron programas de desarrollo de híbridos, pero pronto se percataron de que no podían repetir la exitosa historia de EUA ni de Europa bajo sus propias condiciones. Las principales razones de estas fallas fueron: (a) falta

de acceso a materiales genéticos apropiados para desarrollar líneas autofecundadas; (b) facilidades e infraestructuras muy limitadas, tanto en términos de recursos físicos como financieros; y lo más importante, (c) falta de sistemas efectivos de producción y distribución de semillas. Debido a las restricciones mencionadas, era necesario diseñar un esquema para el desarrollo de materiales apropiados y semillas que se pudieran acomodar a las circunstancias del mundo en desarrollo.

Estudios de genética cuantitativa indicaron que la aplicación de la selección recurrente podría conducir a lograr un mejoramiento significativo del maíz y de otros cultivos de polinización cruzada. Igualmente, y de gran importancia para el mundo en desarrollo, es que con el uso de esta metodología sería posible producir variedades de mayor rendimiento que podrían satisfacer sus necesidades. Encarando alguna dosis de escepticismo por parte de los exitosos fitomejoradores creadores de los híbridos en Estados Unidos, y pese a la falta de evidencia firme y práctica de éxito, se estructuraron algunos programas de mejoramiento de poblaciones con el propósito de suministrar variedades con un mejor potencial productivo y desarrollar mejores fuentes para formar líneas autofecundadas en los lugares donde fuese factible producir híbridos.

Algunos conceptos recientes sobre el mejoramiento efectivo del maíz

En años recientes, los conceptos genotécnicos han sido revisados a la luz de un mejor entendimiento de los conceptos de la genética de poblaciones, y algunos mejoradores de maíz han usado con éxito varias formas de selección recurrente en diferentes partes del mundo, para el mejoramiento intra e interpoblacional.

Actualmente, muchos escépticos han cambiado de opinión. Sprague y Eberhart (1977) puntualizaron que la información obtenida a partir de la teoría genética estadística y de experimentos empíricos de numerosos investigadores sugiere muchas maneras, mediante las cuales se pueden mejorar la eficacia y la eficiencia del mejoramiento del maíz, en comparación con los métodos tradicionales de autofecundación e hibridación que han evolucionado a través de los años.

Lonnquist (1978) señaló que el éxito del maíz híbrido en los Estados Unidos "fue resultado del peso del conjunto de esfuerzos dirigidos a su desarrollo". Añadió que R. E. Comstock y sus colegas han generado el conocimiento teórico y los lineamientos necesarios para la selección recurrente y el mejoramiento de las poblaciones que establecieron nuevas corrientes tanto para el mejoramiento del maíz, como de otros cultivos.

La mayoría de los fitomejoradores en los Estados Unidos todavía ven los híbridos como el producto final óptimo para los agricultores de dicho país. Reconocen, no obstante, la importancia de los logros y los conceptos de la selección recurrente para el mejoramiento poblacional y planean desplegar más esfuerzos en este tipo de trabajo en el futuro (Com. pers. de Duvick y Hallauer). El CIMMYT, obedeciendo a su mandato de ayudar a los programas nacionales de los países en desarrollo, hace hincapié en el desarrollo de variedades de polinización libre como producto final, dadas las condiciones agrícolas en la mayor parte de estos países. Empero, en donde es posible crear la estructura necesaria para sustentar un programa de producción de híbridos, el CIMMYT colabora con el programa nacional correspondiente para el desarrollo de éstos.

El CIMMYT ha diseñado su programa de manera tal que dé cabida a los requerimientos mencionados, y este programa puede ser adaptado para usarse con cualquier cultivo de polinización cruzada, con muy pocas modificaciones.

Programa integrado de mejoramiento de maíz del CIMMYT en múltiples etapas

Varios aspectos del programa de mejoramiento de maíz del CIMMYT han sido descritos detalladamente por Johnson (1974), Vasal *et al* (1978) y Ortega *et al* (1980). Este programa está diseñado para: a) proporcionar una estrategia general que pueda servir de manera eficaz en diferentes áreas productoras de maíz de todo el mundo, dotadas de diferentes niveles de capacidad; b) servir como un mecanismo para el desarrollo y mejoramiento continuo de germoplasma de maíz para satisfacer las necesidades presentes y futuras; c) suministrar un sistema de envío de y hacia los programas nacionales; y d) satisfacer las necesidades de la investigación innovativa y exploratoria en maíz. Se ha hecho hincapié en el desarrollo y mejoramiento de complejos germoplásmicos y de poblaciones de amplia base genética, para desarrollar variedades superiores a partir tanto de materiales normales como con calidad de proteína. Es un proceso de etapas múltiples con flujo continuo y sistemático de germoplasma proveniente de la línea de ensamblaje del CIMMYT a los campos de los agricultores, en el cual los programas nacionales participan como cooperadores efectivos.

El CIMMYT cree que el desarrollo y el mejoramiento de complejos germoplásmicos de amplia base genética debe ser la espina dorsal de cualquier programa dinámico de mejoramiento de maíz. Este método es el mejor seguro contra la erosión genética y la vulnerabilidad debida a una base genética reducida (Sprague and Finlay, 1976), y también constituye una fuente de germoplasma superior para los programas genotécnicos presentes y futuros.

Cada complejo constituye un reservorio de la variabilidad genética necesaria para servir dentro de una gama de condiciones conocidas y es una fuente de germoplasma para el flujo continuo en el proceso de mejoramiento, por medio del cual se seleccionan y refinan las poblaciones para condiciones más y más específicas, a medida que avanza el programa. El sistema de manejo de los conjuntos germoplásmicos del CIMMYT se hace dentro de lo que se conoce como la Unidad de Apoyo y el refinamiento subsecuente de las poblaciones se hace en la Unidad Avanzada.

Existen tres etapas principales en este sistema:

- 1) Desarrollo y mejoramiento de complejos germoplásmicos de amplia base genética para diferentes áreas específicas del mundo.
- 2) Mejoramiento y refinamiento continuos de las poblaciones con los mejores materiales del conjunto correspondiente.
- 3) Selección de las variedades experimentales a partir de las poblaciones.

Los ensayos internacionales desempeñan un papel muy importante en la selección de los materiales mejorados. Las pruebas comienzan tan pronto como se considera que las poblaciones están suficientemente avanzadas para ofrecer algo a los programas nacionales. Estos pueden usar los materiales conforme consideran que les son útiles; algunos materiales que tienen algo que los agricultores pudieran utilizar pueden ser utilizados inmediatamente. También, los programas nacionales pueden seleccionar y refinar aún más estos materiales para adaptarlos a sus condiciones, o incorporarlos en las diferentes etapas de sus programas de mejoramiento. Algunos programas nacionales pueden emplear estos materiales para desarrollar híbridos, aunque se enfatiza el mejoramiento intrapoblacional, con variedades de polinización libre como producto final, se colecta información sobre la respuesta a la heterosis entre varias poblaciones para el mejoramiento interpoblacional y para el desarrollo de híbridos. Esta información se canaliza luego hacia los programas participantes.

En las siguientes secciones se discuten las características más notables y los logros más significativos, particularmente en lo que se refiere al mejoramiento de la adaptación de

los materiales y de la confiabilidad de sus rendimientos, así como del uso eficiente de insumos y la satisfacción de las necesidades de los agricultores y los consumidores.

Desarrollo de complejos germoplásmicos de amplia base genética como recursos de germoplasma

La mayor parte de los programas de mejoramiento de maíz en todo el mundo están trabajando con bases genéticas bastante estrechas, a pesar de que pueden estar manejando un alto número de materiales. Una actividad muy importante del Programa de Maíz del CIMMYT es desarrollar complejos germoplásmicos de amplia base genética como recursos funcionales de germoplasma. La diversidad y la variabilidad genética son requerimientos básicos para el éxito de cualquier programa de mejoramiento poblacional.

Un complejo germoplásmico es una mezcla de germoplasma diverso sometido a un proceso continuo de recombinación y del cual se pueden extraer materiales o al cual se pueden incorporar. A la fecha, el CIMMYT tiene un total de 27 complejos germoplásmicos para satisfacer diversas preferencias en cuanto a color y tipo de grano, requerimientos de madurez y adaptabilidad a diferentes medios ambiente. Hay 12 conjuntos germoplásmicos para las zonas tropicales bajas, ocho para las subtropical-templadas y siete para las de trópico de altura.

Se está usando un método de selección de medios hermanos modificado para la recombinación y mejoramiento de los complejos germoplásmicos. Los complejos se mantienen a nivel de 500 familias aproximadamente. Este número de familias es manejable y mantiene un alto nivel de variabilidad genética. Las 500 familias que componen cada conjunto se siembran en una proporción de dos surcos hembra por uno de macho. El polinizador es una mezcla balanceada de semilla de las mejores familias. Para las características que se expresan antes de la floración, se ejerce presión de selección también desespigando las plantas indeseables de los surcos polinizadores.

Cada complejo se siembra en más de una localidad y un equipo interdisciplinario de científicos identifica las familias superiores en cada sitio. El potencial de rendimiento, la altura de las plantas, el acame, la precocidad, la reacción a los ataques de insectos y enfermedades y la uniformidad se toman en cuenta durante las etapas apropiadas de crecimiento de las plantas. Las mejores plantas, únicamente de las familias que se hayan comportado bien en todas las localidades, se identifican en cada localidad. Al tiempo de la cosecha, se escogen las mejores mazorcas de las plantas seleccionadas de cada complejo en cada localidad.

Además, las mazorcas de las familias que se han mostrado muy superiores en sólo una localidad también se conservan para efectuar recombinaciones superiores en el futuro. Estas se siembran como surcos hembra solamente y su semilla no se incluye en la mezcla que se va a usar como polinizador. Esta selección sobre la base del comportamiento a través de todas las localidades amplía la adaptabilidad del conjunto, a la vez que mantiene también los materiales de comportamiento superior en sitios específicos.

Las introducciones y las adiciones procedentes del banco de germoplasma se siembran sólo como surcos hembra y, por tanto, siempre se desespigan. Esto impide que haya la posibilidad de que materiales que no han sido probados contaminen al conjunto y da la oportunidad de comparar las introducciones con el conjunto, mientras se cruzan con él. Las mazorcas seleccionadas de las introducciones superiores se siembran otra vez como surcos hembra durante el ciclo siguiente para obtener una indicación de su potencial y su posible incorporación al complejo. Las introducciones superiores y apropiadas, así identificadas, se incorporan al complejo.

Desarrollo de nuevas fuentes de variabilidad genética

Como se mencionó anteriormente, la mayor parte de los programas genotécnicos de países europeos y de los Estados Unidos, donde se obtienen los mayores rendimientos, manejan materiales con una base genética relativamente estrecha. En años recientes, los investigadores de esos países se han empezado a preocupar por los peligros de la erosión genética. El CIMMYT cree que el maíz tropical tiene características económicas deseables, de valor potencial para el germoplasma de zonas templadas y que el maíz tropical se podría mejorar mediante la introducción de ciertos caracteres del maíz de zonas templadas (Sprague, 1977). Con objeto de facilitar la introducción de germoplasma exótico en materiales de zonas templadas, el cual a su vez servirá para transferir caracteres del germoplasma de zonas templadas a los materiales tropicales de zonas bajas y de altura, el CIMMYT ha desarrollado cuatro conjuntos germoplásmicos poseedores de una gran diversidad genética. Los principios básicos para constituir estos conjuntos germoplásmicos de amplia base genética, su recombinación y su posterior evaluación y selección en múltiples localidades han sido descritos por Sprague (1977).

El primero de estos complejos se inició en 1976, como un esfuerzo conjunto de la Universidad de Hohenheim (Alemania) y del CIMMYT. Con base en las experiencias obtenidas en el desarrollo de este conjunto, desde entonces el CIMMYT ha desarrollado otros tres conjuntos germoplásmicos de amplia base genética:

1. NTR, para los climas templados del hemisferio norte .
2. ITR, para las fajas intermedias de las regiones templadas.
3. STR, para los climas templados del Hemisferio Sur.

(Rangos similares en el Hemisferio Sur corresponden a los del Hemisferio Norte, pero en orden inverso).

El conjunto germoplásmico CIMMYT-Alemania consiste principalmente de una mezcla de maíces tropicales de zonas bajas y de altura, con muy pocos materiales de zonas templadas. El conjunto germoplásmico NTR está basado en materiales de la faja maicera de los Estados Unidos y materiales de los trópicos bajos y de altura, y el conjunto ITR contiene principalmente materiales procedentes de Europa. Después de que estos conjuntos hayan sido intensamente recombinados se someterán a prueba, evaluación y selección en múltiples localidades, seguidas por la recombinación de las mejores familias, en el CIMMYT.

Mejoramiento de poblaciones de maíz y desarrollo de variedades experimentales

Las condiciones de los agricultores demandan de ordinario contar con materiales con adaptabilidad, período de crecimiento y madurez y tipo de semilla específicos. Para satisfacer esta demanda, la Unidad Avanzada está manejando en la actualidad 27 poblaciones de maíz (23 de maíz normal y cuatro poblaciones portadoras del gene opaco-2). En esta etapa, se hace necesario que los materiales se prueben en los diferentes ambientes. Un ciclo de selección de hermanos completos y de pruebas internacionales de las progenies de cada población puede llevarse a cabo cada año. Sin embargo, la recuperación de los datos correspondientes a los ensayos que se hacen en los países cooperadores tanto del Hemisferio Sur como del Hemisferio Norte, dificulta terminar cabalmente el ciclo en un año, por lo que se usan ciclos de dos años. Se siguen las etapas señaladas en la Figura 1.

1) **Regeneración de progenies de hermanos completos:** Para mantener el número de familias requerido y proporcionar suficientes hermanos completos para ejercer la presión de se-

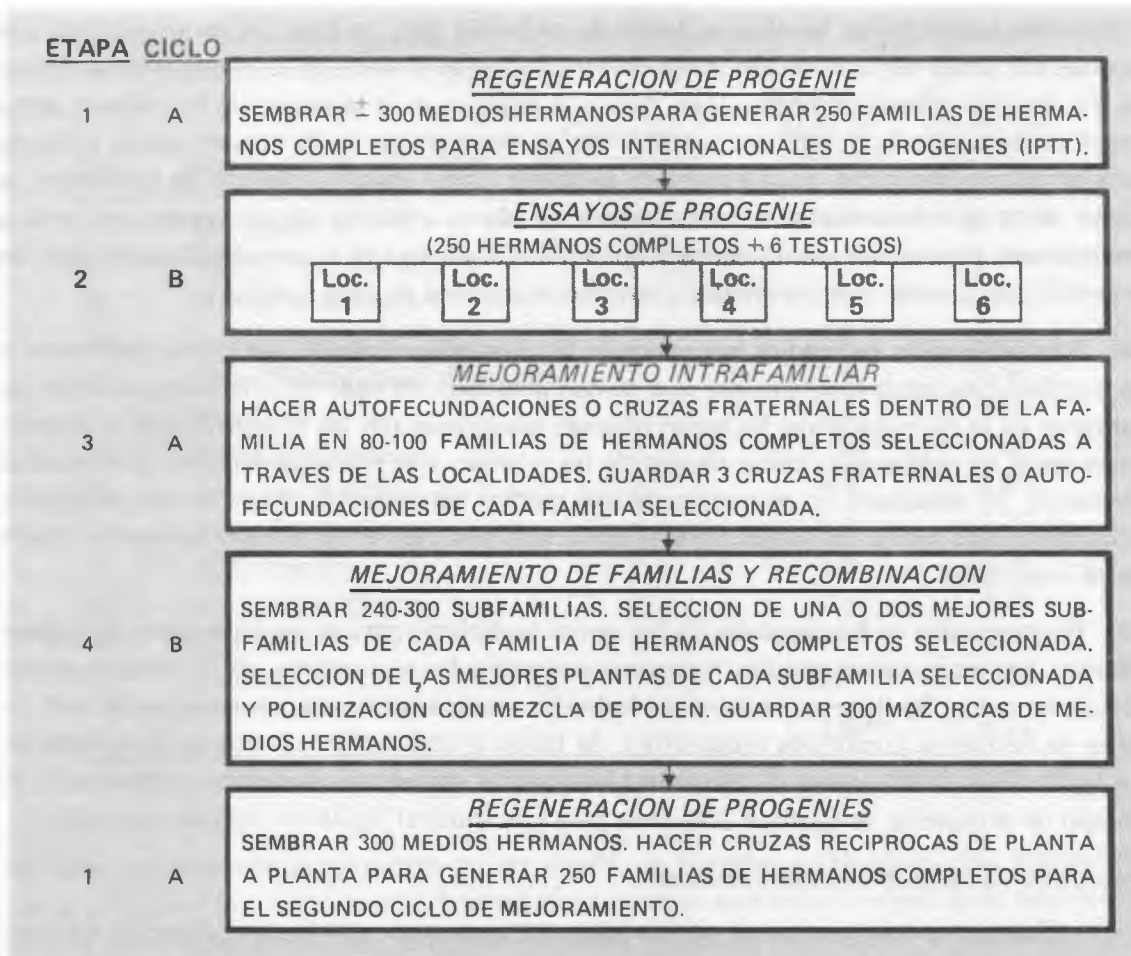


Figura 1. Esquema de la secuencia de mejoramiento de poblaciones

lección deseada en este estado de avance, cada población se mantiene con cerca de 100 familias, y en cada ciclo se desarrollan 250 hermanos completos por medio de cruza recíprocas de planta a planta entre las familias. La selección se hace por madurez, altura de la planta y de la mazorca, resistencia a plagas y enfermedades, y buenas características agronómicas. Las mazorcas de las cruza recíprocas se mezclan a fin de proporcionar semilla suficiente para seis pruebas y bastante semilla remanente para la generación del siguiente ciclo de selección y para el desarrollo de variedades experimentales usando las familias seleccionadas.

2) **Ensayos internacionales de prueba de progenies (IPTT):** Se prueban 250 hermanos completos más seis testigos en el ciclo siguiente, en seis diferentes localidades ubicada en tres a seis países, usando un diseño de látice simple 16 x 16 con dos repeticiones. Con base en el análisis a través de las localidades, se seleccionan de 80 a 100 familias para generar la población para el siguiente ciclo. Las 10 familias superiores de cada localidad y las 10 mejores familias a través de las localidades se identifican para desarrollar variedades experimentales.

3) **Mejoramiento de familias:** La selección dentro de las familias se hace con respecto a las características deficientes. Esta selección se restringe a las familias seleccionadas con base en los datos recibidos de los ensayos internacionales de prueba de progenies (IPTT). La autofecundación o las cruza fraternales se hacen dentro de cada familia seleccionada. Las cruza

fraternales dentro de las familias se hacen de ordinario para mejorar las características que se observan antes de la floración, tales como precocidad y altura de la planta y de la mazorca. En las poblaciones de opaco-2, en donde el objetivo es la selección de los mejores genes modificadores para la dureza del endospermo, se hacen cruza recíprocas de planta a planta. Para otras características, cuya expresión se puede juzgar mejor al tiempo de la cosecha, se hacen tanto autofecundaciones como cruza de planta a planta, de tal manera que ambos progenitores puedan ser identificados y observados al tiempo de la cosecha. Durante ésta, en promedio, se guardan tres fraternales o autofecundaciones de cada familia.

4) Recombinación de medios hermanos de familias seleccionadas: Las cruza fraternales o las autofecundaciones (subfamilias) que se han guardado de cada familia se recombinan cabalmente en el ciclo siguiente. Se hacen otra vez selecciones por las características de interés, tanto entre las subfamilias como dentro de las mismas, y se polinizan a mano como medios hermanos. Se selecciona un promedio de tres medios hermanos de las progenies de cada familia de medios hermanos progenitora, seleccionada con base en su comportamiento a través de las localidades.

5) Regeneración de las progenies de hermanos completos para el siguiente ciclo de mejoramiento: Las mazorcas de medios hermanos seleccionadas se siembran en un arreglo de mazorca por surco. Se lleva un registro de todos los medios hermanos provenientes de cada familia de hermanos completos progenitora. Se hacen cruza recíprocas de planta a planta entre las familias provenientes de diferentes familias de hermanos completos progenitoras. Al tiempo de la cosecha, se guardan 250 pares para continuar el siguiente ciclo de selección.

Desarrollo de variedades experimentales

Se emplea una intensidad de selección del cuatro por ciento en la selección de familias para el desarrollo de variedades experimentales. Estas se desarrollan en base a los datos de las pruebas de progenies, tanto a través de las localidades como de localidades específicas. Dado que la mejor fracción de cada población se usa para la formación de las variedades experimentales, se espera que éstas muestren un comportamiento considerablemente superior al promedio de la población, Además de aquellos caracteres que establecen una variedad, la uniformidad de maduración y de las alturas de planta y mazorca, son características importantes para la selección de las diez mejores familias, de tal manera que la variedad resultante sea de apariencia uniforme.

Cada variedad experimental entra a un incremento de semilla de segundo orden a efecto de obtener una cantidad suficiente de semilla. Por tanto, si una variedad resulta promisoría en un Ensayo de Variedades Experimentales (EVT), ésta puede ser usada de inmediato en la segunda serie, llamada Ensayo de Variedades Experimentales Elite (ELVT).

Los nombres de las variedades se derivan de los nombres de las estaciones experimentales en donde se llevó a cabo el ensayo de progenies respectivo, y por tanto, en donde se hizo la variedad. Para los propósitos de genealogía, este nombre es seguido de dos dígitos que indican el año en que se llevó a cabo la selección, luego otros dos dígitos que indican el número de la población de la cual se derivó la variedad, como ejemplo, Tocumen 7928, seleccionada en 1979 de la población 28.

Avances a partir de selección recurrente en poblaciones de maíz del CIMMYT

El avance en la selección recurrente practicada en 13 poblaciones en dos o tres ciclos, se muestra en el Cuadro 1. Las poblaciones base y los ciclos de mejoramiento (C₂ o C₃)

Cuadro 1. Aumentos después de 2 ó 3 ciclos de selección de 13 poblaciones

No.	Nombre de la población	Ciclos de mejoramiento	Porcentaje total de aumento	O/o de aumento por ciclo/año
21	Tuxpeño - 1	2	4.4	2.20
22	Mezcla Tropical Blanco	3	4.3	1.44
23	Blanco Cristalino - 1	3	6.6*	2.20
24	Ant. x Ver. 181	3	10.6**	3.50
25	(Mix. 1 x Col. Gpo. 1) x Eto	2	4.8	2.40
26	Mezcla Amarilla	2	6.2	3.10
27	Amarillo Cristalino	3	13.6**	4.50
28	Amarillo Dentado	2	5.9	2.90
29	Tuxpeño Caribe	2	5.4	2.70
32	ETO Blanco	2	1.5	0.75
35	Ant. x Rep. Dom.	2	8.1*	4.05
36	Cogollero	2	19.7**	9.80
43	La Posta	3	15.7**	5.20
X			7.9**	3.44

* y ** significativos a nivel de 0.5 y de 0.01 de probabilidades, respectivamente

de estas poblaciones se probaron en un diseño de parcelas subdivididas (las poblaciones como parcelas y los ciclos como subparcelas) en ensayos con cuatro repeticiones establecidas en tres localidades en México. Los resultados del ensayo se resumen en el Cuadro 1. Todas las 13 poblaciones mostraron mejores rendimientos, mayor precocidad y menor altura de planta. Los aumentos de rendimiento por ciclo variaron de 0.75 a 9.8 por ciento con un promedio de 3.44 por ciento por ciclo de todas las poblaciones.

Algunas poblaciones, por ejemplo Mezcla Tropical Blanca y ETO Blanco, mostraron ganancias relativamente más bajas (1.44 y 0.75 por ciento). Esto podría indicar que la varianza genética aditiva para el rendimiento, la cual es el componente de la varianza explotada en el mejoramiento de las poblaciones, es bastante baja. Podría ser aconsejable introducir en esas poblaciones fracciones genéticas superiores de los conjuntos germoplásmicos correspondientes de la Unidad de Apoyo. Esto ampliaría la variabilidad genética de estas poblaciones y se podría continuar con éxito la selección recurrente para su mejoramiento.

No obstante, ambas poblaciones tienen, por sí mismas, potencial de rendimiento muy alto. Este factor ha sido utilizado para desarrollar variedades de alto rendimiento y fenotípicamente aceptables. Una de las mejores variedades, que ha tenido un comportamiento excelente en varios países alrededor del mundo, La Máquina 7422 provino de la población Mezcla Tropical Blanca.

Las poblaciones La Posta y Cogollero mostraron ganancias relativamente altas por ciclo, de 5.2 y de 9.8 por ciento respectivamente. La Posta ha dado origen a variedades superiores que se pueden comparar favorablemente con los híbridos que se usan como testigos nacionales en diferentes áreas de América Central y de África. En tanto que La Posta fue manejada como una población cerrada, la población Cogollero, después del primer ciclo de mejoramiento, fue fusionada con la fracción genética superior de otra población, IDRN. Esto puede explicar las altas ganancias observadas en esta población.

Un hecho significativo, que ha surgido al implementar esta tecnología de mejoramiento, es que las variedades a través de las localidades, desarrolladas a partir de los datos de múltiples localidades de los IPTT, están mostrando un grado de adaptación progresivamente superior y sus rendimientos se están tornando más altos en varias localidades. Los datos muestran que las variedades a través de las localidades están teniendo comportamientos estables y superiores en varios sitios. Ejemplos de estas variedades son: Across 7822, Across 7728, Across 7736 y Across 7740.

Otra característica notable que ha emergido de los datos de los ensayos internacionales es que ciertas localidades de prueba parecen tener una combinación de factores ambientales tal que las selecciones de progenies para el desarrollo de variedades específicas para estas localidades han resultado en variedades que tienen comportamientos excelentes también en otras áreas geográficas. Ejemplos de estas localidades son: La Máquina, Guatemala; Tocumen, Panamá; San Andrés, El Salvador; Poza Rica, México; y Ferkessedougou, Costa de Marfil.

Uno de los sitios de prueba para estos ensayos comparativos fue Ciudad Obregón, México, que representa un ambiente con presión por alta temperatura y baja humedad. Ahí, los materiales de ciclos avanzados dieron rendimientos promedio mucho mayores que las poblaciones que les dieron origen, en comparación con otros dos sitios que tenían condiciones ambientales más favorables y no estaban sujetos a ninguna tensión por calor o por falta de humedad.

Los resultados mencionados demuestran la efectividad del sistema de mejoramiento de poblaciones de hermanos completos, en comparación con pruebas en localidades múltiples para mejorar el rendimiento y ampliar la adaptabilidad de las poblaciones y de las variedades experimentales.

Sprague y Eberhart (1977) han listado los aumentos promedio de los rendimientos por ciclo en el mejoramiento intra e interpoblacional obtenido por diferentes investigadores con diferentes esquemas de selección recurrente. El incremento promedio del rendimiento por ciclo para cada esquema (promedio de todas las poblaciones mencionadas) se anota en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Aumentos promedio obtenidos con otros esquemas de selección

Esquema	No.de selecciones reportadas	Rango de aumento por ciclo (°/o)	Aumento promedio por ciclo (°/o)
Mejoramiento intrapoblacional			
Selección masal	6	1.4 – 11.1	3.40 (1.9 si se elimina una población tropical que muestre un aumento excesivo de 11.1 por ciento por ciclo)
Mazorca por surco	6	2.2 – 5.3	3.78
Hermanos completos	5	2.5 – 4.0	3.12
Selecciones S ₁	6	1.1 – 6.9	4.65
Selecciones S ₂	2	1.9 – 2.2	2.05
Prueba de cruzas	4	0.7 – 7.3	2.85
Mejoramiento interpoblacional			
Recíproco	9	0.4 – 7.4	2.90
Prueba de cruzas (variedad probadora)	8	1.4 – 3.8	2.65
Prueba de cruzas (consanguíneo probador)	7	1.8 – 7.4	4.48

El aumento promedio de rendimiento de las selecciones, de 3.44 por ciento por ciclo (con un ciclo por año) observado en las poblaciones del CIMMYT, junto con el mejoramiento de otras características agronómicas tales como aumento de la precocidad y reducción de la altura de la planta, se compara favorablemente con los resultados de la selección recurrente obtenidos por otros investigadores.

Aumentos de rendimiento de las variedades sobre las poblaciones progenitoras

En el programa del CIMMYT, la intensidad de selección para las familias que van a regenerar el siguiente ciclo de población es de 30 a 40 por ciento, mientras que la intensidad de selección sobre las familias para generar variedades experimentales es de cuatro por ciento. En el Cuadro 3 se presenta una comparación del mismo ciclo de ocho variedades de polinización libre con sus poblaciones progenitoras, probadas en 12 a 19 diferentes localidades. Estos fueron los datos del primer ciclo de variedades experimentales que fueron producidas siguiendo la implementación de la selección fraternal de las familias y el sistema de ensayos internacionales. Los aumentos de rendimiento a través de las localidades variaron de 7 a 20 por ciento. Se observan resultados similares en los materiales con calidad de proteína. La superioridad de rendimiento y de otros caracteres agronómicos de las variedades experimentales que se obtuvieron al final de cada ciclo de mejoramiento intrapoblacional es evidente.

Sprague and Eberhart (1977) sugieren que el rango de mejoramiento de los híbridos de las poblaciones mejoradas será proporcional al mejoramiento de la cruce de la población con dos poblaciones en mejoramiento. Ellos indican además, que con una intensidad de selección de cuatro por ciento, la superioridad de los híbridos de cruces dobles expresada como porcentaje de la media de la cruce de la población varía de 9.4 a 12.4 por ciento, mientras que la superioridad de las cruces simples varía de 15 a 20.4 por ciento. La superioridad del rendimiento se incrementará en razón directa con el incremento de la intensidad de la selección.

Gardner (1978) sugirió que si el mejoramiento de las poblaciones se puede lograr sin una reducción significativa de su variabilidad genética, los mejores híbridos provenientes de cruces simples y de cruces dobles de una serie de líneas escogidas al azar, derivadas de la población mejorada, tendrán rendimientos superiores en 20 a 30 por ciento, como mínimo, a la media de la población.

Cuadro 3. Aumento de rendimiento en variedades de polinización libre en comparación con las poblaciones originales

Variedad	Población	Rendimiento de la variedad como porcentaje del rendimiento promedio de la población a través de las localidades
Gemiza 7421	Tuxpeño 1	112
Poza Rica 7422	Mezcla Tropical Blanco	107
Tocumen 7428	Amarillo Dentado	117
Rampur 7433	Amarillo Subtropical	111
Yousafwala 7435	IDRN	115
Tlaltizapan 7443	La Posta	119
Tlaltizapan 7444	AED x Tuxpeño	120
Pirsabak 7448	Compuesto de Hungría	108

Sprague y Eberhart (1977) han mostrado una distribución esperada de los mejores híbridos obtenida de una población original y de una población mejorada. Con la metodología del CIMMYT, las mejores variedades experimentales se obtienen siguiendo cada ciclo de mejoramiento. Esto se representa gráficamente en la Figura 2.

En la Figura 3 se muestra el período, en ciclos, necesario para el desarrollo de variedades e híbridos, así como su nivel esperado de comportamiento, con base en las presiones de selección que se aplican en el programa del CIMMYT para los materiales de polinización libre, y tal como fue postulado por Sprague y Eberhart (1977) y por Gardner (1978) para híbridos. Una intensidad de selección de 40 por ciento en una población de polinización libre debería dar un cinco por ciento de ganancia en cada ciclo. Por otro lado, un híbrido podría mostrar una superioridad de 25 por ciento. Sin embargo, los híbridos requieren un período substancial (11 ciclos) para su desarrollo. Es posible ver claramente que el programa del CIMMYT puede proporcionar materiales utilizables, de comportamiento superior, a cada ciclo de desarrollo. Tanto las poblaciones como las variedades se mejoran proporcionalmente con cada selección, y después del mismo número de ciclos existe una diferencia muy pequeña entre el comportamiento de los híbridos y el de las variedades. En efecto, dado que se haya llevado a cabo una selección adecuada en cada ciclo, las variedades podrían tener comportamientos superiores a los de los híbridos. En el Cuadro 4 se muestra el comportamiento de algunas de estas variedades en ensayos en localidades múltiples.

Para la mayor parte de los programas de los países en desarrollo, la extracción de variedades experimentales superiores de poblaciones mejoradas es la metodología de mejoramiento más eficiente, desde el punto de vista de su costo.

Selección por adaptabilidad ambiental

Como se indicó en este mismo artículo, la planta de maíz tropical es, en muchos casos, una planta menos eficiente en comparación con su contraparte de clima templado, y está sujeta con frecuencia a diferentes tensiones ambientales que no se presentan en los

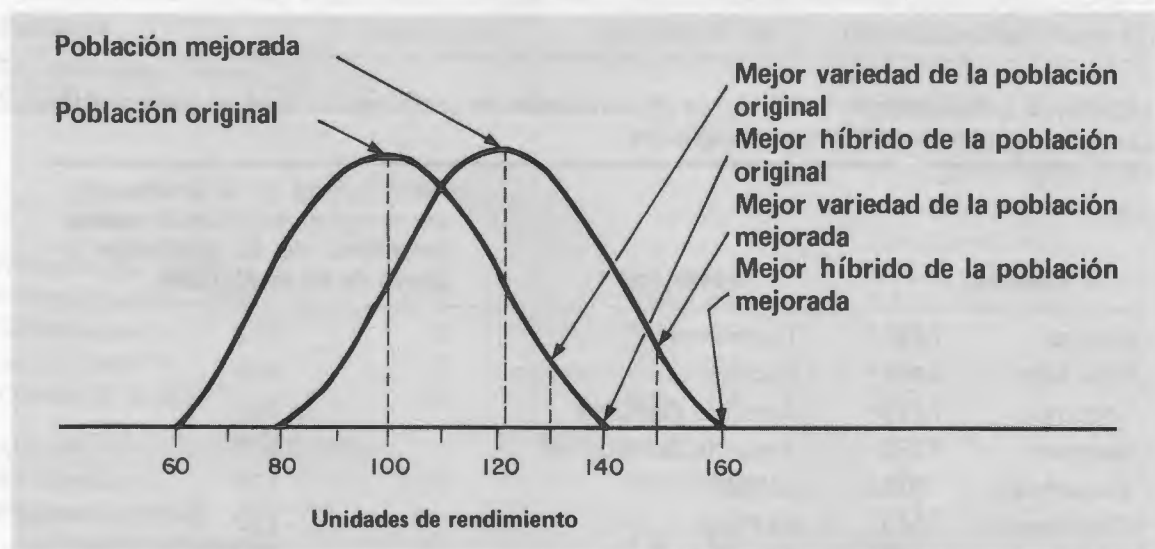


Figura 2. Distribución esperada de rendimiento de híbridos de cruza simple y de variedades provenientes de poblaciones originales y mejoradas (adaptado de Sprague y Eberhart, 1977)

climas templados. El programa del CIMMYT se enfoca al mejoramiento de las deficiencias más importantes de estos materiales tropicales.

Mejoramiento de la eficiencia para la producción de grano

Es apropiado describir aquí los resultados del programa de selección recurrente a largo plazo para la reducción de la altura de la planta en una población de maíz tropical, Tuxpeño 1. Se hizo hincapié principalmente en la reducción de la altura de la planta y se efectuó solamente selección rutinaria para otras características como la que normalmente se hace en un programa de fitomejoramiento. En el Cuadro 5 se presentan los datos correspondientes. Se logró una gran reducción, casi lineal, de la altura de la planta (resultado de la reducción del total de nudos así como de la reducción del tamaño de los entrenudos abajo de la mazorca) y de un incremento lineal del rendimiento de grano (cuando se sembraron diferentes ciclos a su densidad óptima) a una tasa de 2.9 por ciento por ciclo. El índice de cosecha también aumentó linealmente. Quince ciclos de selección dieron como resultado una reducción de un metro de la altura de la planta, un incremento de rendimiento de 2.68 ton/ha (a densidad óptima de siembra), una reducción de siete días al 50 por ciento de la aparición de estigmas y un incremento del índice de cosecha de 0.30 a 0.46. Este estudio demuestra no sólo que es posible reducir la altura de la planta del maíz tropical, lo cual reduce el acame y hace que responda mejor a un manejo mejorado, sino que también es posible mejorar su eficiencia de rendimiento por medio del mejoramiento de su índice de cosecha (Johnson and Fischer, 1979, Fischer and Palmer, 1980).

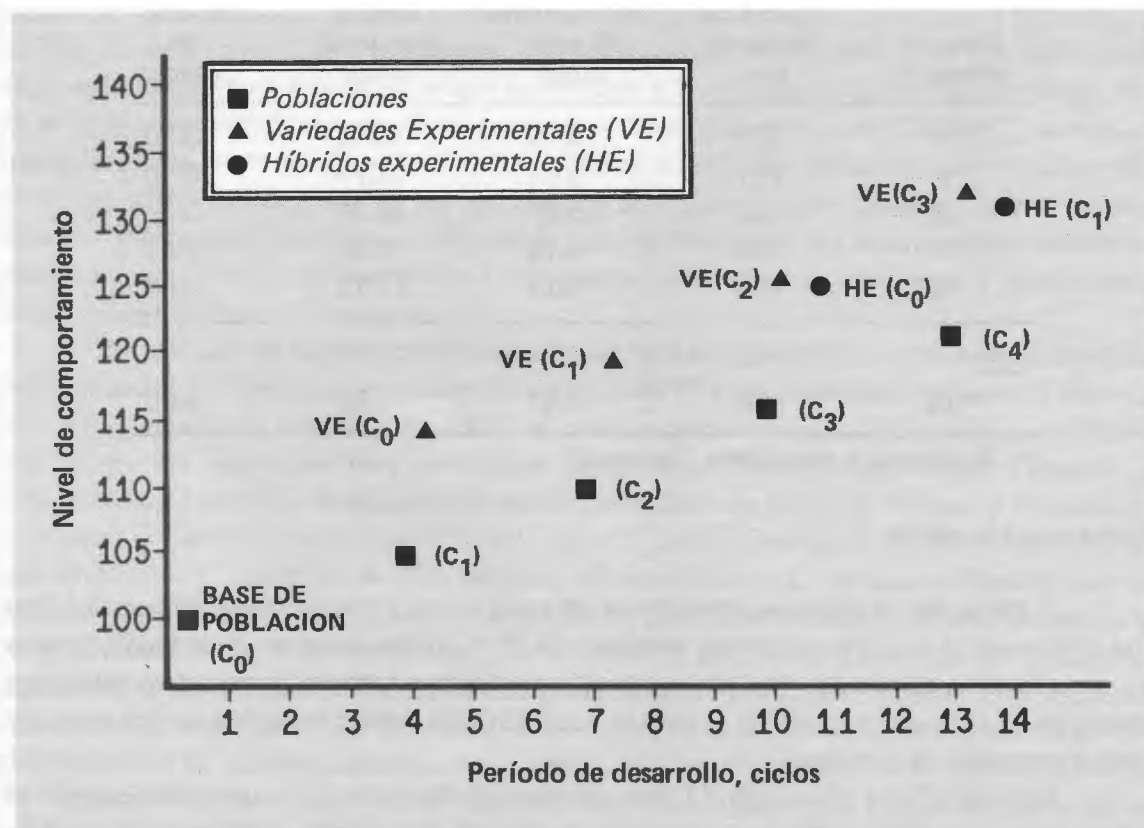


Figura 3. Período para la producción de variedades e híbridos

Cuadro 4. Ensayo uniforme de maíz del PCCMCA 1980^{1/}

Entrada No.	Variedad	Rendimiento kg/ha	Porcentaje arriba del testigo	Días a la floración	Altura de la planta, cm
30	B-666	5703	111	58	269
14	Poza Rica 7843*	5544	108	57	250
17	Poza Rica 7822*	5381	105	56	231
5	ICTA T-101	5364	104	56	236
32	7904	5350	104	57	238
16	La Maquina 7843*	5344	104	58	252
31	7901	5322	104	58	252
1	ICTA HB-33	5309	103	56	229
20	CENTA H-9	5230	102	56	254
36	CENTA H-5	5136	100	57	254
4	La Maquina*	4652	90	58	242

^{1/} Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios

* Variedad de polinización libre

Cuadro 5. Comparación de ciclos de selección en Tuxpeño 1

Ciclo de selección	Altura de la planta (cm)	Rendimiento de grano (t/ha)*	Materia seca total (t/ha)	Índice de cosecha
0	273	4.05	14.94	0.30
6	211	5.54	14.75	0.38
9	203	5.67	15.32	0.39
12	196	6.18	15.37	0.41
15	173	6.73	15.12	0.46
LSD				
P.05	10	0.41	1.84	0.05

* Sembrado a densidades "óptimas"

Tolerancia a la sequía

A través de las regiones productoras de maíz en los trópicos, este cultivo está sujeto con frecuencia a sequías periódicas debidas a la distribución irregular de la lluvia durante su período de crecimiento. Por tanto, el cultivo sufre por falta de humedad en diferentes etapas de su ciclo de crecimiento y esto se hace aún más crítico en suelos con baja capacidad de retención de humedad.

Los científicos del CIMMYT han estado estudiando la variación genética para el comportamiento bajo condiciones de tensión de humedad y explorando el grado de confianza que se le puede asignar a criterios simples para el desarrollo de tipos tolerantes a la sequía

a escala de campo. Aunque se observó poca diferencia de comportamiento entre diferentes genotipos varietales probados en una amplia gama de condiciones de escasez de agua, en la población base Tuxpeño 1, el comportamiento de familias individuales sí varió. Por ello, se inició un programa de selección recurrente en esta población, para seleccionar familias por mejor comportamiento bajo condiciones de sequía.

Los parámetros que se usaron para evaluar la tolerancia a la sequía bajo el índice múltiple de selección son: (a) tasa relativa de desarrollo de las hojas, (b) intervalo entre la liberación de polen y la floración femenina, (c) muerte de tejidos foliares, (d) rendimiento de grano bajo condiciones de ausencia o no de humedad, y (d) temperatura de la parte superior del follaje.

Los resultados obtenidos hasta la fecha muestran que: (i) existe una interacción genotipo x humedad ambiental; (ii) la selección bajo condiciones no limitantes de humedad no afecta en forma adversa el comportamiento del material bajo condiciones de falta de humedad, y que las pruebas de localidades múltiples y la selección de familias con base en su comportamiento a través de las localidades puede mejorar el comportamiento, bajo niveles intermedios de falta de humedad; (iii) es posible usar un índice múltiple de selección para identificar genotipos (familias) que tienen un comportamiento mejor que el promedio bajo condiciones de humedad deficiente sin detrimento de su comportamiento bajo condiciones favorables de humedad o sin falta de humedad.

Resistencia a las enfermedades

El cultivo del maíz se ve afectado por numerosas enfermedades; esto es una de las causas de la inestabilidad de los rendimientos, particularmente en los trópicos húmedos y cálidos. El desarrollo de una resistencia poligénica (resistencia/tolerancia de campo) contra estas enfermedades es deseable, ya que contribuye a la estabilidad de los rendimientos. En el programa de selección recurrente para mejorar las poblaciones del CIMMYT, continuamente se ejerce la presión de selección para obtener resistencia a las pudriciones de la mazorca y del tallo (usando técnicas de inoculación artificial) y a los tizones y royas foliares (usando infecciones de campo confiables). Los resultados de los ensayos internacionales muestran que el nivel de resistencia a enfermedades de algunos conjuntos y poblaciones se ha mejorado considerablemente.

Un ejemplo de cooperación internacional para el desarrollo de la resistencia a las enfermedades es la investigación colaborativa del CIMMYT para la resistencia al mildiú veloso, y al achaparramiento del maíz. En 1974, se inició un proyecto de investigación colaborativa con programas nacionales para seleccionar germoplasma en áreas endémicas. Tailandia y Filipinas colaboraron en la selección de materiales resistentes al mildiú veloso, y El Salvador y Nicaragua para el achaparramiento del maíz. El procedimiento de mejoramiento que se usó involucró la selección de 500 familias, aproximadamente, de cada población por su reacción a las enfermedades, la autofecundación de plantas resistentes en el país respectivo y la recombinación de entre esas selecciones en México, junto con la selección por caracteres agronómicos deseables. Se ha repetido este procedimiento por cuatro ciclos en tres poblaciones de amplia base genética y se han logrado avances en la acumulación de resistencia al mildiú veloso y al achaparramiento. Actualmente, dichas poblaciones se usan para desarrollar variedades de polinización libre para las áreas afectadas por el mildiú veloso y por el achaparramiento. También, algunos programas nacionales interesados en el desarrollo de híbridos emplean estas poblaciones como fuentes de líneas autofecundadas resistentes.

Resistencia a los insectos

El daño que causan los insectos es otro factor importante que limita el rendimiento del maíz. El uso juicioso y moderado de insecticidas podría parecer una solución fácil para este problema, pero de acuerdo con las experiencias obtenidas en el trópico, no es tal el caso. El mejoramiento por resistencia y/o tolerancia a los insectos ha sido una preocupación constante de los mejoradores de maíz. Este tema ha sido revisado recientemente por Ortega *et al* (1980) quienes describieron detalladamente las técnicas empleadas para la cría masiva de insectos, infestación artificial y evaluación de la reacción de las plantas al daño causado por insectos.

En 1974, el CIMMYT estableció un laboratorio de cría de insectos destinado a producir suficientes larvas para infestar artificialmente y seleccionar conjuntos y poblaciones de maíz por su reacción a los ataques de los insectos. Este laboratorio produce millones de larvas de gusano cogollero, gusano elotero, barrenador de la caña de azúcar y barrenador del maíz. Se han perfeccionado las técnicas de infestación con estas larvas a miles de progenies de maíz mediante un pequeño aplicador (llamado "bazuka") con el cual uno puede aplicar un número determinado de larvas por planta con una diferencia de ± 10 a 15 por ciento. Esta técnica, tan sencilla, ha sido adoptada por los científicos de maíz de todo el mundo relacionados con el desarrollo de la resistencia a insectos.

Después del desarrollo de estas técnicas, se ha registrado un considerable progreso en el mejoramiento de la resistencia al gusano cogollero en dos conjuntos y en dos poblaciones de la Unidad Avanzada. Se esperan avances similares en lo que toca al barrenador de la caña de azúcar, al barrenador del maíz y al gusano elotero.

Mejoramiento de la calidad nutricional

A través de los años, los mejoradores de maíz han prestado considerable atención al mejoramiento de la calidad nutricional e industrial de este cultivo. El CIMMYT ha enfocado el mejoramiento de la calidad nutricional, mediante el mejoramiento de la calidad proteínica del maíz.

Luego de los descubrimientos de los efectos bioquímicos del gene opaco-2 sobre el endospermo del maíz y de las ventajas nutricionales de este maíz con proteína modificada (mejores niveles de lisina y triptofano), los fitomejoradores de todo el mundo iniciaron programas genotécnicos tendientes a aumentar la calidad proteínica de esta gramínea. Se desarrollaron híbridos y variedades portadores del gene opaco-2, el cual determina la proteína mejorada. Sin embargo, estos materiales no tuvieron aceptación entre los agricultores ni entre los consumidores debido a que tenían algunos defectos asociados al gene opaco-2. Sus granos eran suaves, de textura calichosa, con una apariencia opaca, mayor vulnerabilidad a las enfermedades (por ejemplo, pudriciones de la mazorca) y a los ataques de los insectos, tardaban más en secarse y por tanto tenían un alto contenido de humedad al tiempo de la cosecha y lo más importante, un menor rendimiento de grano.

A efecto de remediar estos problemas, los científicos del CIMMYT usaron modificadores genéticos para desarrollar materiales opaco-2 de apariencia más semejante a los materiales normales, pero reteniendo aún su calidad proteínica superior. Estos esfuerzos para acumular modificadores genéticos han demostrado en forma concluyente que la mayor parte de los problemas que confronta el maíz opaco-2 se pueden resolver por medio de una selección cuidadosa y sistemática con respecto a granos opaco-2 con endospermo duro.

Como se mencionó anteriormente, el programa de mejoramiento de maíz del CIMMYT da mucha importancia al desarrollo de poblaciones y variedades de polinización libre tanto de maíz normal como con calidad de proteína. Por tanto, los métodos y los esquemas de selección para el mejoramiento intrapoblacional son esencialmente los mismos para los materiales normales y para los maíces de calidad de proteína. Sin embargo, debido a los problemas peculiares que presenta la introducción y el mantenimiento del gene opaco-2 y la acumulación de sus modificadores, se emplea un esquema de retrocruzas y selección recurrente (Figura 4).

El avance logrado en el desarrollo y mejoramiento de maíz de endospermo duro y con apariencia normal se ilustra en la Figura 5. Hoy día se cuenta con materiales iguales o

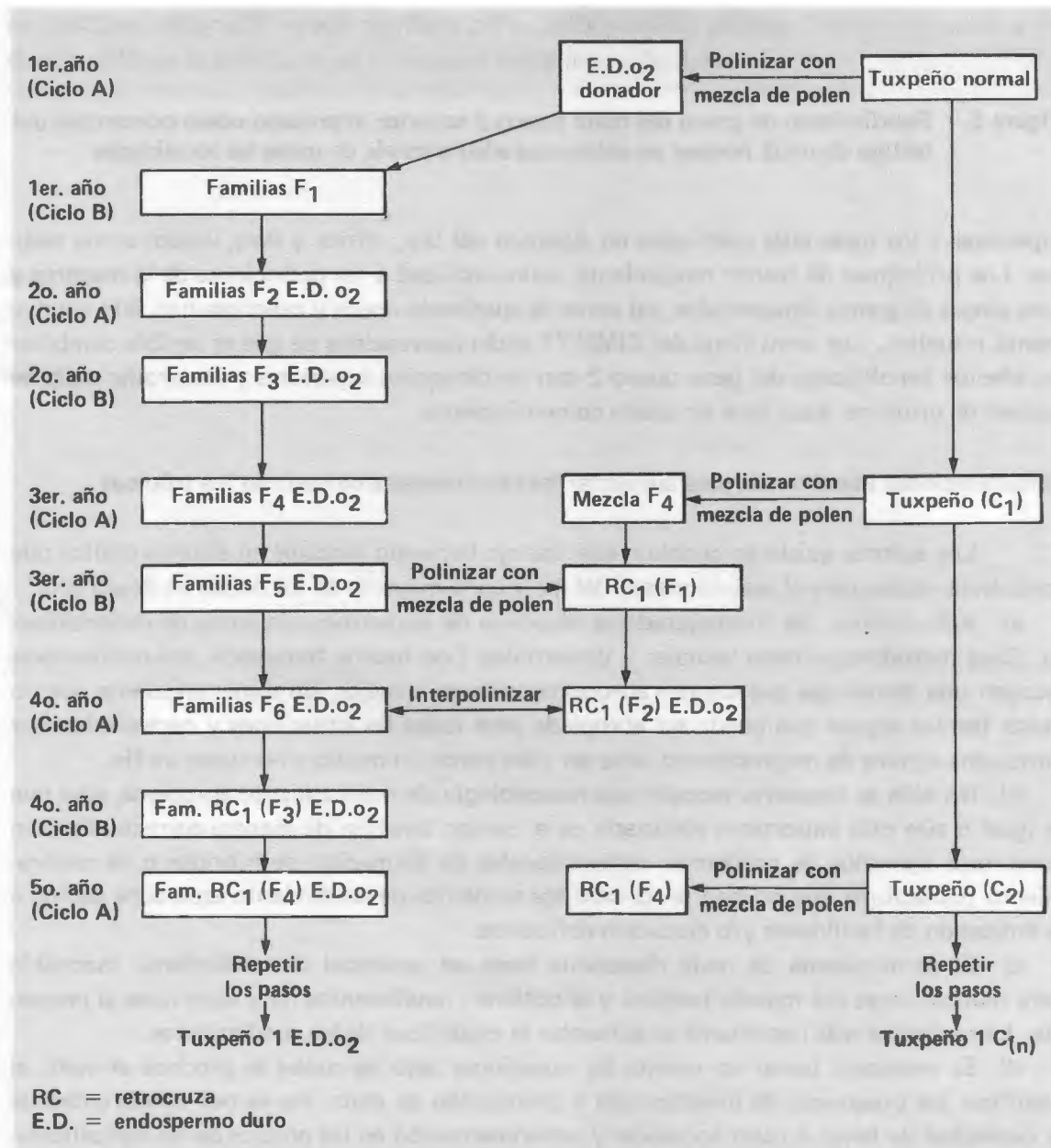


Figura 4. Esquema de selección recurrente combinado con retrocruzamientos para la obtención de versiones de poblaciones normales durante su mejoramiento

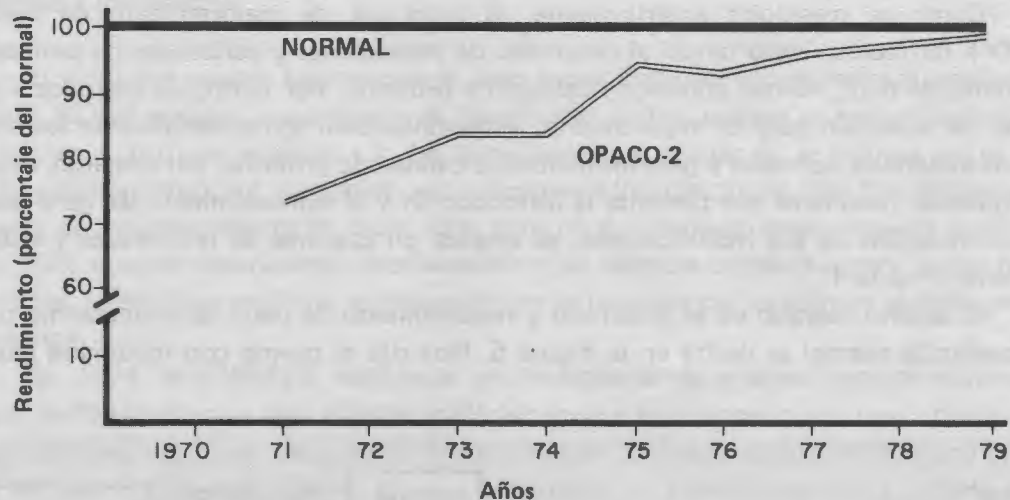


Figura 5. Rendimiento de grano del maíz opaco-2 superior expresado como porcentaje del testigo de maíz normal en diferentes años a través de todas las localidades

superiores a los materiales cultivados en América del Sur, África y Asia, usados como testigos. Los problemas de menor rendimiento, vulnerabilidad a las pudriciones de la mazorca y a las plagas de granos almacenados, así como la apariencia opaca y calichosa han sido ampliamente resueltos. Los científicos del CIMMYT están convencidos de que es posible combinar los efectos beneficiosos del gene opaco-2 con rendimientos superiores y desarrollar maíz de calidad de proteína, apto para ser usado comercialmente.

Consideraciones importantes para aumentar los rendimientos de maíz en los trópicos

Los autores quisieran concluir este trabajo haciendo hincapié en algunos puntos que consideran vitales para el mejoramiento del maíz en la mayoría de los países en desarrollo:

a) Actualmente, los fitomejoradores disponen de numerosos esquemas de mejoramiento. Cada metodología tiene ventajas y desventajas. Con mucha frecuencia, los mejoradores escogen una tecnología que algunos autores consideran la mejor, sin tomar en cuenta que no existe técnica alguna que pueda ser apropiada para todas las situaciones y necesidades; por tanto, una técnica de mejoramiento debe ser vista como un medio y no como un fin.

b) No sólo es necesario escoger una metodología de mejoramiento apropiada, sino que es igual o aún más importante ejecutarla en el campo también de manera correcta. Existen numerosos ejemplos de programas convencionales de formación de híbridos o de mejoramiento poblacional que no han producido los aumentos de rendimiento esperados debido a la limitación de facilidades y/o ejecución deficiente.

c) El germoplasma de maíz disponible tiene un potencial de rendimiento razonable para muchas áreas del mundo tropical y se obtienen rendimientos muy superiores al promedio. La necesidad más importante es aumentar la estabilidad de los rendimientos.

d) Es necesario tomar en cuenta las situaciones bajo las cuales se produce el maíz, al planificar los programas de investigación y producción de maíz. No es por demás enfatizar la necesidad de llevar a cabo encuestas y experimentación en los predios de los agricultores.

e) La falta de programas apropiados de producción de semilla es un factor crítico que limita la producción de maíz en la mayor parte de los países en desarrollo. El éxito de algu-

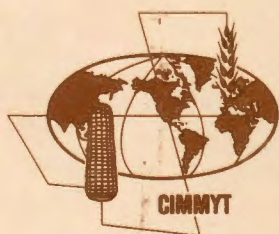
nas compañías privadas productoras de semilla en países del mundo desarrollado se puede atribuir a dos factores principales: 1) al desarrollo de materiales aceptables para los productores, y 2) a que estas compañías han sido capaces de entregar, a tiempo, semilla de alta calidad a los productores. No existen razones por las cuales los programas nacionales no puedan hacer lo mismo.

f) La producción de semilla de buena calidad tiene tanta importancia para las variedades de polinización libre como para los híbridos. Las compañías productoras de semilla no deben depender de los híbridos para obtener éxito. El desarrollo de buenos programas nacionales de semillas es esencial para incrementar la producción de maíz.

g) La tecnología para la producción de semilla es ampliamente conocida; sin embargo, sólo se dispone de algunas informaciones dispersas sobre el mantenimiento y la producción de semilla de las variedades de polinización libre. Es muy satisfactorio ver que actualmente se está prestando una mayor atención a los problemas de producción, de mercadeo y de distribución de la semilla de las variedades de polinización libre.

LITERATURA CITADA

- Fischer, K.S., and Palmer, A.F.E. 1980. "Yield Efficiency in Tropical Maize." Trabajo presentado en el Simposio: "Potential Productivity of Field Crops Under Different Environments," IRRI.
- Gardner, C.O. 1978. "Population Improvement in Maize." En *Maize Breeding and Genetics* (Ed. D.B. Walden), John Wiley and Sons Inc., pp. 207-228.
- Johnson, E.C. 1974. "Maize Improvement." En Proceedings of World-Wide Maize Improvement in the 70s and the Role for CIMMYT. México. pp. 3.1 - 3.37.
- Johnson, E.C., and Fischer, K.S. 1979. "Ideas para Mejorar la Eficiencia de Variedades de Maíz." XXV Reunión del PCCMCA, Tegucigalpa, Honduras.
- Lonnquist, J.H. 1978. Introductory Remarks to the Session on Corn Breeding. En *Maize Breeding and Genetics* (Ed. D.B. Walden), John Wiley and Sons, Inc., pp. 187-189.
- Ortega, A., Vasal, S.K., Mihm, J., and Hershey, C. 1980. "Breeding for Insect Resistance in Maize." En *Breeding Plants Resistant to Insects* (Ed. F.G. Maxwell and P.R. Jennings), John Wiley and Sons, Inc., pp. 371-419.
- Sprague, E.W. 1977. Development of New Sources of Genetic Variability for Europe. En Proceedings of the IXth Meeting of Eucarpia; Maize and Sorghum Section. Krasnodar, 1977, pp. 112-128.
- Sprague, E.W., and Finlay, K.W. 1976. "Current Status of Plant Resources and Utilization." En "The World Food Conference of 1976." CIMMYT reprint No. 19.
- Sprague, G.F., and Eberhart, S.A. 1977. "Corn Breeding". En *Corn and Corn Improvement* (Ed. G.F. Sprague), American Society of Agronomy, Inc., pp. 305-362.
- Vasal, S.K., Ortega, A., and Pandey S. 1978. "Population Improvement and Varietal Development in CIMMYT's Maize Program." En Proceedings of XVth Annual Meeting of Caribbean Food Crops Society.



CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO
INTERNATIONAL MAIZE AND WHEAT IMPROVEMENT CENTER
Londres 40, Apdo. Postal 6-641, México 6, D.F., México