

ANÁLISIS Y COMENTARIOS

ESTRATEGIAS EN EL DESARROLLO DE HÍBRIDOS TROPICALES DE MAÍZ¹

S. K. Vasal², N. Vergara³, McLean⁴

RESUMEN

Estrategias en el desarrollo de híbridos tropicales de maíz. Las estrategias en un programa de desarrollo de híbridos deben estar orientadas a lograr objetivos a corto plazo. Las fuentes de germoplasma que se utilicen son muy importantes, necesitan poseer características agronómicas deseables, principalmente en lo relativo a altura de planta, mazorca y calidad de tallo, que permitan generar buenos progenitores. Para lograr estos objetivos es indispensable incorporar nuevas etapas y modificaciones a los sistemas convencionales para obtener mayor eficiencia. En esta presentación se discutirán varios aspectos sobre el desarrollo de fuentes de germoplasma, orientadas a la formación de híbridos, integración e introducción de nuevos esquemas de mejoramiento de poblaciones paralelas al desarrollo de híbridos, creatividad en la obtención de líneas vigorosas y productivas usando estrategias diversas y eficientes, caracterización precisa de líneas en ensayos de evaluación per-se y pruebas de aptitud combinatoria en cruzamiento con probadores. Identificación de nuevos híbridos durante la etapa de desarrollo de híbridos, predicciones de nuevos híbridos con menor número de curvas simples, uso efectivo de líneas en formación de nuevas poblaciones y grupos heteróticos sintéticos. Se discuten opciones para obtener híbridos simples y eficientes en el futuro.

ABSTRACT

Strategies in developing tropical maize hybrids. The strategies in a hybrid development program should be so oriented to achieve short, medium and long term objectives. The germplasm source utilized is quite important and should possess desirable agronomic traits with good plant and ear height characteristics along with good stalk quality to allow development of good progenitors. To achieve these objectives, it is imperative to introduce new strategies and modifications in the conventional systems to obtain higher efficiency. In this presentation various aspects are discussed relating to germplasm source oriented towards hybrids, integration and introduction of new schemes of population improvement parallel to hybrid development, production of vigorous and productive lines using diversified and efficient strategies, precise characterization of lines in inbred-line evaluation trials, combining ability in crosses with testers, identification of new hybrids during various stages of hybrid development, prediction of new hybrids with less number of single crosses, use of inbred lines in forming new populations as well as heterotic groups and synthetics. Options for developing single cross hybrids to add efficiency in the future are discussed.

INTRODUCCIÓN

En cualquier programa de hibridación con objetivos bien definidos deberán de seleccionarse fuentes de germoplasma orientado al desarrollo de híbridos, estas fuentes deberán tener aspectos importantes tales como:

buen potencial de rendimiento y características agronómicas deseables; tolerancia a endocria, buena habilidad combinatoria, alto comportamiento en cruzamiento con otras poblaciones de grupo heterótico opuesto y buena capacidad para generar progenitores endocriados y no endocriados (Vasal *et al.*, 1990). Es muy importante

¹ Presentado en la XXXIX Reunión Anual del PCCMCA en Guatemala, América Central. 28 de marzo - 3 de abril, 1993.

² Coordinador de Germoplasma Tropical.

³ Ingeniero Agrónomo.

⁴ Postdoctorado.

Programa de Maíz. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Lisboa 27. Apdo. Postal 6-641, Col. Juárez. 06600 México, D. F.

desarrollar una base de germoplasma específica que sirva como fundación de un programa de híbridos que permita crear nuevas fuentes de germoplasma con base en líneas con buen comportamiento *per se* y buena aptitud combinatoria general; se deberán también establecer estrategias para desarrollar nuevos híbridos convencionales y no convencionales en una manera más sencilla y eficiente y si es posible en un tiempo más corto (Vasal, *et al.*, 1992). También es necesario tener varios tipos de probadores bien definidos para poder separar nuevos materiales y líneas en diferentes grupos heteróticos para la introgresión de estas nuevas fuentes de germoplasma y buena manipulación en formación de híbridos más eficientes.

En esta presentación se discutirán estrategias que involucran varios aspectos relacionados a hibridación y además se dará énfasis a la integración del mejoramiento de poblaciones con el desarrollo de híbridos. También se discutirán algunos aspectos nuevos que se introdujeron en el programa tropical de CIMMYT.

1) Información sobre habilidad combinatoria

Es muy importante tener amplia información sobre la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) de las fuentes de germoplasma que se tengan dentro de un programa y también de las que existan en otros programas diferentes o instituciones nacionales e internacionales. En programas donde existan recursos, deberán evaluar nuevas bases de bancos de germoplasmas e identificar nuevos grupos heteróticos que proporcionen un alto nivel de comportamiento en cruzamiento. En el Cuadro 1 se indican diferentes grupos heteróticos que existen en el mundo y en el Cuadro 2 se muestran los patrones heteróticos de varios germoplasmas de CIMMYT para utilizarlos en un programa de hibridación.

2) Fuentes de germoplasma específicos para hibridación

Se pueden utilizar germoplasmas que se están mejorando y usando en la formación de variedades de

Cuadro 1. Patrones heteróticos de maíz importantes.

Reid	x	Lancaster
Tuxpeño	x	Eto
Tuxpeño	x	Cubanos Cristalinos
Tuxpeño	x	Costeños Cristalinos Tropicales
Tusón	x	Cubanos Cristalinos
Tusón	x	Chandelle
Tusón	x	Tuxpeño
Costeños Cristalinos Tropicales	x	Cubanos Cristalinos
Costeños Cristalinos Tropicales	x	Chandelle
EC 573	x	Sintético Kitale
AED	x	Tuxpeño

Cuadro 2. Posibles combinaciones heteróticas con las poblaciones del CIMMYT.

Población	Posible combinación heterótica
21	Pobs. 32 y 25 y Pool 23
22	Pob. 32
23	Pool 20
24	Pob. 36 y Suwan-1
25	Pob. 21
26	Pool 21
27	Pool 25, Suwan-1 y Pob. 44*
28	Pob. 24 y Suwan-1
29	Pob. 32
31	Pob. 49*
32	Pobs. 21, 22, 29 y 44
33	Pob. 45
34	Pob. 42 y Pool 34*
36	Pob. 24
42	Pobs. 34, 43, 45* y 47
43	Pobs. 42 y 44
44	Pobs. 32, 25, 27* y 43
45	Pob. 33 y Pool 33
46	Pob. 48 y Pool 30
47	Pob. 42
48	Pob. 46 y Pool 27* y 28
49	Pob. 26* y 31 y Pool 21

* Indica que el material es de diferente color de grano que la población con la que se aparea y que aparece en la columna de la izquierda.

polinización libre, pero cuando existen muchos materiales es importante identificar un número mínimo de grupos heteróticos para extraer líneas e híbridos en forma más eficiente. Hay algunos aspectos que deben poseer estas fuentes de germoplasma que son útiles en la hibridación tales como tolerancia a endocria, buena habilidad combinatoria, alto comportamiento en cruzamiento con materiales de grupo heterótico opuesto y características agronómicas deseables, particularmente en altura de planta cuando se quiera producir híbridos con más de dos componentes. Para mejorar la tolerancia a endocria, es necesario introducir una fase de endocria como S1 ó S2 en el mejoramiento de poblaciones o en una etapa del mejoramiento intrafamiliar, también es posible mejorar esta característica en los esquemas de mejoramiento interpoblacional, que involucren una o dos etapas de endocria.

Aptitud combinatoria general de poblaciones (ACG)

En cualquier tipo de mejoramiento de poblaciones que utilicemos, se requiere hacer modificaciones apropiadas para generar y utilizar esta información en las familias seleccionadas. Generalmente muchos esquemas de mejoramiento intrapoblacional no permiten generar información sobre ACG de las familias, pero existe la posibilidad de introducir nuevas etapas de cruzamiento entre las familias bajo un sistema de cruza dialélicas, dialélico parcial o en un diseño II que permitan generar nuevas progenies en forma más sistemática con una conducción en campo más eficiente y con menos posibilidad de errores. Todos los esquemas nuevos de mejoramiento poblacional que se están utilizando en el programa tropical de el CIMMYT, tienen una forma específica de generar nuevas progenies las cuales permiten generar esta nueva información en la selección de las familias año por año.

Es muy importante introducir nuevas estrategias, en forma sistemática o seudosistemática, dentro del desarrollo y mejoramiento de las fuentes de germoplasma que se estén utilizando, para crear divergencia genética

y mejorar su comportamiento en cruzamiento. Existen diferentes maneras de trabajar en varios esquemas de selección:

- 1) Usar esquemas de mejoramiento interpoblacional como selección recíproca recurrente (SRR) o selección recíproca recurrente con hermanos completos (SRR-HC). Generalmente la descripción de estos esquemas en los libros de mejoramiento no son muy apropiados para aplicarlos en las fuentes de germoplasma tropical y subtropical, además tienen ciertas desventajas que no permiten mejorar estos germoplasmas para lograr objetivos más apropiados a hibridación, por lo tanto es necesario hacer ciertas modificaciones las cuales permitan manejar un gran número de líneas en nivel de S1 para evaluación y únicamente evaluación de líneas S1 en mestizos que tengan buen comportamiento. El programa de mejoramiento tropical de el CIMMYT está utilizando un esquema de selección recíproca recurrente modificado (SRRM) para así lograr un gran rango de objetivos orientados al desarrollo de híbridos.
- 2) Se pueden mejorar las fuentes de germoplasma en la selección recurrente para ACE. Dentro de este esquema también es importante introducir etapas de evaluación de líneas S1 antes o cuando se estén cruzando con los probadores. Aquí se puede utilizar como probador una línea o una cruza simple proveniente de dos líneas del mismo germoplasma.
- 3) Las fuentes de germoplasma heteróticas, pueden divergir genéticamente durante el proceso de desarrollo de líneas. Después de alguna generación de endocria podemos cruzar con probadores de grupo heterótico opuesto en cada una de dos poblaciones para que en base al comportamiento peso de las líneas y a su habilidad combinatoria, permita seleccionar mejores líneas dentro de cada grupo para hacer una recombinación y mejorar el germoplasma. Este esquema no es fijo, pero es casi igual al esquema SRR.

Estrategias para desarrollar nuevas bases de germoplasma

Dentro de un programa de hibridación, siempre existe un proceso de desarrollo de líneas, el cual no es únicamente para formar híbridos sino que también para crear nuevas fuentes de germoplasma que tengan una mayor utilidad. Se requiere de tiempo para formar nuevas bases de germoplasma de líneas que tengan alto nivel de comportamiento *per se* y buena habilidad combinatoria. Cuando ya exista este tipo de germoplasma, se debe considerar usar estos progenitores endocriados para crear nuevas fuentes de germoplasma con base en líneas, además también hay posibilidad de usar estas líneas para separar patrones heteróticos y formar nuevos grupos o reconstituir el mismo grupo con una base amplia de germoplasma.

En el programa de híbridos del CIMMYT, siempre se pensó en la fundación de una base de germoplasma a nivel de líneas. Después de cuatro o cinco años de intenso trabajo, contamos con una base de líneas de diversos materiales, las cuales tienen tolerancia aceptable a endocría, buena ACG y además varios aspectos importantes que se son útiles para utilizadas como macho o hembra. Esta base de germoplasma se usó para formar cuatro nuevas poblaciones tropicales denominadas: IBP-1 (Blanco Dentado), IBP-2 (Blanco Cristalino), IBP-3 (Amarillo Dentado), IBP-4 (Amarillo Cristalino); además se formaron dos nuevos grupos heteróticos tropicales blanco dentado y cristalino (THG-A, THG-B). También se tiene oportunidad de crear nuevas fuentes de germoplasma con características contrastantes.

Estrategias en el desarrollo de progenitores

Dependiendo del tipo de híbridos que se deseen formar, primero se deben de desarrollar progenitores endocriados o no endocriados o ambos. En la formación de híbridos convencionales siempre utilizamos líneas endocriadas, en grado intermedio o avanzado, como progenitores; del mismo modo en la formación de híbridos no convencionales involucran no menos de un progenitor que debe ser no endocriado. Sin embargo,

existe la posibilidad de involucrar dos progenitores no endocriados o uno endocriado y otro no endocriado (híbridos tipo mestizo).

En el programa tropical hay muchos esfuerzos dedicados al desarrollo de líneas, pero realmente hasta ahora existen muy pocas líneas que tengan utilidad en hibridación; muchos híbridos comerciales involucran líneas con un nivel de endocría a veces con no más de dos generaciones, por la sencilla razón de que las líneas más avanzadas carecen de rendimiento aceptable en la producción de semillas de híbridos. Debemos reconocer que el proceso de endocría es un proceso destructivo. En cada generación se elimina una cierta proporción de genotipos; cuando se llega a un nivel de endocría S4 o más, quedan muy pocas líneas que se pueden mantener y utilizar en un programa de hibridación. Esto quiere decir que la probabilidad de obtener líneas en muchos materiales es muy baja y el método standard para el desarrollo de líneas no es muy apropiado porque requiere de mucho tiempo para remuestrear el mismo material. Por lo tanto, es importante pensar en una nueva estrategia en el desarrollo y mejoramiento de las fuentes de germoplasma que sirvan para incrementar la probabilidad de extracción de líneas en un nivel más alto a plazo corto para formar nuevos híbridos.

Actualmente muchos programas nacionales no hacen reciclaje de líneas debido al poco esfuerzo aplicado.

El reciclaje de líneas se puede realizar en varias maneras, pero siempre reciclamos dentro del mismo grupo heterótico, en este proceso es necesario crear fuentes de líneas F2 con base a cruza simple, e iniciar nuevamente una etapa de endocría para generar nuevas líneas. A veces se pueden usar también poblaciones retrocruzadas dentro del mismo grupo para el desarrollo de nuevas líneas.

Es importante mencionar que durante la etapa de desarrollo de líneas, según la tolerancia a endocría de las poblaciones, se deberá iniciar un reciclaje de líneas a un nivel más temprano o cuando tengamos muchas líneas.

Creación de progenitores no endocriados

Durante el desarrollo de híbridos no convencionales es importante crear progenitores no endocriados que sirvan en la formación de híbridos y evitar la tendencia a utilizar materiales de tipo polinización libre. La uniformidad y la atracción de estos híbridos dependerá de la variación de los progenitores, esto quiere decir que en caso de que queramos uniformidad buena en este tipo de híbridos, se deberán crear progenitores utilizando familias de hermanos completos (HC), medios hermanos (MH), líneas con endocria temprana y líneas élite; pero lo más importante es crear progenitores con una base estrecha de germoplasma que permita uniformidad.

Identificación y desarrollo de probadores

Este aspecto tiene amplios usos dentro del programa de mejoramiento de poblaciones y de desarrollo de híbridos. Además tienen utilidad en las diferentes etapas de desarrollo de líneas. El desarrollo de probadores es un proceso de evolución, al principio se pueden utilizar poblaciones luego variedades experimentales, sintéticos y después, cuando existan progenitores más sofisticados, se necesita tener probadores a nivel de híbridos y de líneas. Estos probadores se pueden crear e identificar durante el proceso de mejoramiento de poblaciones o durante el proceso de desarrollo y evaluación de las líneas. Hasta ahora, en el programa tropical de CIMMYT, contamos con casi 19 líneas identificadas como probadores y además tenemos algunas cruza simples así como algunos sintéticos, los cuales se pueden usar como probadores.

Tipo de híbridos

Existe una etapa standard en la formación de híbridos que requiere de siete a ocho años para identificar un híbrido triple o doble, también hay dos fases de evaluación antes de identificar los mejores híbridos. Muchos programas realizan cruza dialélicas entre líneas para generar cruza simples y utilizar estos datos en la predicción de híbridos triples y dobles. Debemos considerar nuevas estrategias para identificar y formar híbridos

en alguna etapa de evaluación, así como también la formación de híbridos entre líneas de diferente grupo heterótico. Hay algunos ejemplos de programas nacionales que formaron híbridos simples y triples, usando líneas de la misma población, como es el caso de Tailandia. Según resultados obtenidos en CIMMYT, los híbridos entre líneas de diferentes poblaciones tienen una ventaja en comparación con híbridos entre líneas de la misma población. La formación de dialelos no es un proceso eficiente para la identificación de nuevos híbridos, sino que se identificarán cruza simples buenas que sirvan como progenitores en la formación de nuevos híbridos triples; de esta manera las líneas nuevas se pueden aparear con una cruza simple como probador para identificar nuevos híbridos triples en una sola fase de evaluación; el diseño II es más eficiente y permite la evaluación de un mayor número de líneas.

En resumen, en cualquier programa de hibridación si existe un nivel de sofisticación más alto, deberán formarse híbridos simples, pero éstos tendrán líneas como hembras con un alto nivel de rendimiento y con tamaño de grano aceptable. Para estos híbridos simples se necesita identificar líneas como probadores que sirvan como un progenitor fijo en la formación de nuevos híbridos. La metodología de formación de híbridos simples es mucho más fácil y también ayuda a generar nuevos híbridos en un tiempo más corto.

Integración de mejoramiento de poblaciones e hibridación

Existen diferentes formas de integrar el mejoramiento de poblaciones con el desarrollo de híbridos. Esto se discutió en una presentación en 1992 y hasta ahora en CIMMYT todos los esquemas nuevos establecidos están bien orientados al mejoramiento de poblaciones y a la formación de híbridos. Varios aspectos de mejoramiento de poblaciones que son integrados al desarrollo de híbridos son: Identificación de nuevas líneas en nivel de endocria temprana en cada ciclo de selección, obtención de información sobre ACG, formación de sintéticos con buen comportamiento en cruza miento (CPS), identificación de híbridos convencionales y no convencionales, reciclaje de líneas con

buen comportamiento y buena habilidad combinatoria a nivel de endocría temprana.

LITERATURA CITADA

SRIWATANAPONGSE, S.; JINAHYON, S.; VASAL, S.K
1993. Suwan-I: Maize from Thailand to the World, Mexico, D.F. CIMMYT.

VASAL, S. K; HAN, G.; VERGARA, N.; AHUJA, V. P.; ESPINOZA, M. A. 1990. XXXVI Reunión Anual del PCCMCA, San Salvador, El Salvador; 26-30 de marzo, 1990. Vol. I p. 161-174.

VASAL, S. K; SRINIVASAN, G.; GONZÁLEZ F. c.; VERGARA, N. 1992. XXXVIII Reunión Anual del PCCMCA, Managua, Nicaragua; 23-27 de marzo, 1992.