

230

HD
9044
BU
C8
V.2

METODOLOGIA EN EL MEJORAMIENTO GENETICO DEL FRIJOL

Steven Temple
Luis A. Rojas
Richard Swindell

INTRODUCCION

Como todos sabemos, los agricultores cultivan las plantas útiles por su importancia, no solamente en la alimentación humana y animal sino también en la industria. Para elevar sus ingresos el agricultor progresista está constantemente en busca de procedimientos más eficientes que le permitan aumentar la producción y mejorar la calidad y el valor nutritivo de sus productos.

El mejoramiento genético no es la única arma de que el agricultor dispone para mejorar sus cosechas, ya que es necesaria una estrecha relación entre las prácticas culturales que el agricultor puede desarrollar con los materiales obtenidos por el fitomejorador.

En terminos generales el mejoramiento de las plantas pretende conseguir variedades superiores mediante diferentes métodos que le permiten escoger dentro de poblaciones variables plantas genéticamente superiores en una o varias características, las cuales pueden producir a su vez nuevos y mejores individuos a través de la hibridación y la selección. El mejoramiento de las plantas se aplicó por primera vez, cuando el hombre aprendió a escoger las mejores plantas (domesticación). Es muy difícil determinar exactamente cuando

el hombre empezó a hibridar plantas en una forma conciente o planificada,

*Curso Intensivo de Adiestramiento de Producción
de Frijol para Investigadores de América
Latina, Cali, 1977*

V.2 p. 1-26

pero se sabe que en Siria y Babilonia polinizaron artificialmente la Palma Datilera 700 años antes de la era Cristiana. También se dice que los Indios Americanos hicieron magníficos trabajos de mejoramiento en maíz mucho tiempo antes de que los Europeos llegaran a este continente. Cuando en el año de 1694 se publicaron los trabajos de Camerarius mostrando con certeza la existencia del sexo y la función del polen en las plantas, creció el interés por el cruzamiento.

En 1716 se observó que las mazorcas de maíz amarillo cercanas a maíces de granos rojos o azules contenían granos rojos y azules entre los amarillos, hecho que parece haberse constituido en la primera observación registrada respecto a hibridación natural. La primera planta híbrida fué obtenida en 1717 cruzando dos tipos diferentes de trébol.

Posteriormente (1760-1766) en Alemania se realizaron estudios sistemáticos de hibridación artificial, principalmente en tabaco; la primera hibridación con fines prácticos fue por un horticultor inglés llamado Thomas Andrew Knight quien produjo muchos nuevos tipos de frutos y hortalizas por medio de la polinización cruzada. Durante esta época de los comienzos del fitomejoramiento hubo trabajos en Europa y en Norte América a detectar metodologías y principios que facilitaran la investigación. Por ejemplo el principio de la selección individual en las plantas autógamias como medio para obtener nuevas variedades, se estableció a los comienzos del siglo en Suecia. Ningun trabajo contribuyó tanto como el de Gregor Mendel, quien estudió el mecanismo

de la herencia en cruces de arvejas (Pisum sativum); descubrió en 1866 que la primera generación después de un cruce entre plantas altas y plantas cortas producía tan solo plantas altas, y que en la segunda generación, volvían a aparecer los dos tipos de plantas, altas y cortas en una proporción de 3 altas a 1 corta.

II. LA GENETICA COMO BASE DEL FITOMEJORAMIENTO DE PLANTAS

La discusión de todas las bondades de las variedades mejoradas modernas no tendría sentido sin hacer alusión a los medios por los cuales las características mejoradas de esas variedades reaparecen en cada generación. La transmisión de las características de un individuo a su descendencia es la "Herencia", término general que denota la tendencia en Animales y Plantas a semejarse a sus progenitores.

Por supuesto los determinantes de las características son los genes transportados por los cromosomas del núcleo de las células sexuales. Mendel, a consecuencia de sus observaciones estableció las dos leyes fundamentales que rigen la herencia y en las cuales se basa el fitomejoramiento; ellas son:

- 1) Ley de la separación o segregación de los factores: Los factores diferentes que representan en un cruzamiento caracteres opuestos de un mismo órgano se separan en el híbrido al formarse las células sexuales; distribuyéndose entre éstas en idéntica proporción.

- 2) Ley de la asociación o recombinación independiente de los factores. Una vez separados, los factores se reúnen al azar durante la fecundación, formando distintas combinaciones cuyo número depende del de los caracteres que entren en el cruzamiento.

Las leyes y los principios de Mendel se tomaron como base de la ciencia de la Genética.

Genética es la ciencia joven (desde 1900) que estudia la herencia y la variación para identificar los principios involucrados en la transmisión de las unidades de la herencia, de una generación a la siguiente. Como descubrió Mendel, después de cruzar entre dos padres diferentes y homocigóticos, la primera generación de plantas produce individuos todos iguales genéticamente. En la segunda generación comienzan a segregarse. En la tercera generación las plantas homocigóticas producen solamente descendientes homocigóticos, mientras que las plantas heterocigóticas siguen segregando. Es decir, que desde la tercera generación se aumenta cada ciclo el porcentaje de las plantas homocigóticas y se disminuye por la mitad el porcentaje de las plantas heterocigotas. En esta forma la frecuencia de plantas homocigóticas es de 0% en F1, 50% en F2, 75% en F3, 87.5% en F4, etc.... Ya en F6 casi no habrá plantas heterocigotas (solo 3.1%).

Fitomejoramiento es el mejoramiento genético de las plantas, aquella ciencia capaz de dirigir la herencia de éstas, a fin de producir generaciones que hereden de sus progenitores las características más deseadas por el hombre. El moderno mejoramiento de las plantas se basa en una aplicación de los principios de la genética al manejo de la variabilidad que existe en poblaciones. Se trata de las frecuencias de genes, y su modificación por lo que podemos llamar "evolución dirigida" al beneficio económico del hombre.

FUENTES DE VARIABILIDAD BIOLÓGICA

Las variaciones biológicas que exhiben los seres vivos, (sean animales o vegetales) pueden ser debidas a tres causas distintas:

- A. Influencia del medio ambiente en que se desarrolla
- B. Segregación genética para factores hereditarios
- C. Mutaciones genéticas

El total de las características que un determinado individuo posee y es capaz de transmitir a sus descendientes se llama el "Genotipo" del individuo, y la expresión externa de esas características es el "Fenotipo" del individuo. Mientras que el genotipo es heredable, el fitomejorador tiene que basar sus observaciones visuales en la apariencia externa o fenotípica; complicándose de esta forma los problemas del hibridador porque la variación observada entre plantas

es el resultado de interacciones complicadas entre el genotipo y factores ambientales que ocurren durante el ciclo de crecimiento de las plantas. Sabemos que el ambiente interviene actuando con la herencia en la expresión de casi todas las características que pueda presentar una planta, pero hay factores como la exuberancia del crecimiento vegetativo y el rendimiento en grano que son especialmente susceptibles a las variaciones ambientales. Dado que estas son características económicas de mucha importancia para el fitomejorador, su preocupación en reducir al mínimo la variabilidad causada por las variaciones ambientales debe ser de primera prioridad. Es decir que el fitomejorador está en la lucha que cada individuo exprese su capacidad genética real.

La recombinación de factores hereditarios da origen a una variación de bastante intensidad en las progenes, tanto más numerosos como mayor sea el número de pares de factores distintos que figuran en la hibridación.

La variación genética puede ser no solo de carácter cualitativo bien marcado, es decir, cambios de forma o de color de ciertos órganos, sino de tipo cuantitativo debido a la acción de factores múltiples. Este último puede manifestarse en caracteres que se miden fácilmente o con mucha dificultad.

La última causa de la variación son las mutaciones heredables dentro de individuos de una población. La mutación puede ser espontánea (fuente natural de la variabilidad), o inducida química o atómicamente.

ASPECTOS DE LA VARIABILIDAD GENETICA

Cuando una especie se reproduce de tal modo que los gametos que se unen para formar un cigote proceden del mismo individuo, se dice que la reproducción es "autógama" y las plantas reciben el nombre de autógamas. Entre las especies autógamas se cuentan la mayor parte de las leguminosas de grano, el trigo, la avena y la cebada. En estas especies la selección individual dentro de razas criollas puede dar origen inmediato a líneas homocigotas. Las poblaciones de especies autógamas están formadas por una mayoría de individuos homocigóticos.

Cuando los gametos que se unen para formar el cigote y por lo tanto el individuo nuevo, proceden de individuos o plantas diferentes, se dice que la reproducción es alógama, y las plantas reciben el nombre de alógamas. Interesa hacer notar que una especie puede ser alógama y sin embargo, ser monoica (por ejemplo el maíz). Es evidente que son alógamas las especies vegetales dioicas y todas las que son auto-estériles, caso muy frecuente en árboles frutales, como también aquellas especies cuya fertilización se efectúa por acción del viento, como ocurre en el caso del maíz. Las poblaciones en estas especies están formadas por una mayoría de individuos heterocigóticos. El criterio que utilizó Allard (1960) para distinguir entre los cultivos principalmente autógamos y los alógamos, es el de si sufren de endocria.

La variabilidad en los caracteres morfológicos que existe en la naturaleza, como es el caso de la separación natural que existe entre plantas dioicas y monoicas exige que el fitomejorador escoge sus procedimientos de mejoramiento al modo de reproducción de la especie.

Plantas dioicas - dentro de éstas existen individuos que producen exclusivamente gametos masculinos e individuos que producen exclusivamente gametos femeninos, ejm. lúpulo, espárrago.

Plantas monoicas - los gametos masculinos y femeninos se turnan en el mismo individuo y se presentan dentro de dos caras: plantas con flores unisexuales (maíz) y plantas con flores hermafroditas (frijol).

En las plantas dioicas y monoicas con flores unisexuales cada semilla debe ser el resultado de polinización cruzada. Padres genéticamente diferentes frecuentemente producen en el híbrido características superiores a las de sus progenitores. Este fenómeno, llamado "heterosis" o "vigor híbrido" se ha explotado exitosamente en cultivos comerciales como el del maíz.

Dentro de las poblaciones de varias especies se presentan casos de incompatibilidades genéticas que restringuen las combinaciones a un número menor que el potencial teórico.

La incompatibilidad puede ser debida al polen o a la morfología o sincronización de los estambres y pistilos. El extremo, por supuesto, es la esterilidad masculina, factor aprovechable en realizar cruzamientos pero un fenómeno no muy común en la naturaleza. Su uso en la producción de híbridos es cada día mayor y se hace necesario que el fitomejorador esté familiarizado con los usos de esta clase de herramienta. Hay diferentes tipos de esterilidad masculina - genética, genética/citoplásmica, y exclusivamente citoplásmica. Lo importante es que esta esterilidad abre nuevas opciones en cuanto a la cantidad y latitud de cruza posibles, hasta la simulación de poblaciones algamas.

Penetración y expresividad son términos que se usan para explicar la transferencia de los genes de progenitores a progenies relacionadas con la aparición de las características que transmiten. Mendel encontró que la fasciación, o fusión parcial o total de las hojas con el tallo es un fenómeno debido a un gene simple recesivo fa . En el estudio de F_1 y F_2 e híbridos testigos de cruces de tipos normales y fasciados se demostró que la penetrancia del gene fa , dada por la proporción de plantas $fa\ fa$ que mostraron fasciación, fué incompleta y variable de cruce a cruce. La expresividad fué también variable desde plantas con fasciación casi imperceptible hasta plantas completamente anormales. Penetración y expresividad son muy importantes para conocer la confianza con la cual el fitomejorador puede hacer un tamizado* o seleccionar para un carácter.

Tamizar = "screening" (procedimiento de sembrar, aplicar tratamiento, evaluar, seleccionar).

V. MÉTODOS DE LA SELECCIÓN EN PLANTAS ALOGAMAS Y AUTOGAMAS

Por ser las plantas alógamas plantas de polinización cruzada en ellas se aplica una metodología especial distinta a la empleada en plantas autógamas. Siendo la producción comercial de híbridos o plantas F1 el principal método usado, a fin de aprovechar las ventajas que presenta la heterosis o vigor híbrido. Pero en el presente trabajo solo hablaremos de los métodos de mejoramiento de plantas autógamas como es el caso del frijol.

Métodos empleados en el mejoramiento de plantas autógamas

A. POBLACIONES NO HIBRIDAS, como por ejemplo una mezcla de razas criollas, pueden ser mejoradas por medio de dos métodos comunes:

1. Selección masal es la selección, cosecha y mezcla de la semilla proveniente de plantas similares en apariencia. Una variedad desarrollada por selección masal debe ser más o menos pura para aquellos caracteres seleccionados (como madurez, color de semilla), pero sus líneas componentes pueden diferir en rendimiento y calidad puesto que diferencias muy pequeñas en los caracteres cuantitativos no pueden detectarse a simple vista. El objetivo de la selección masal es mejorar el nivel general de la población para caracteres de alta heredabilidad. El método no sirve bien para caracteres de baja heredabilidad. Una observación por Vieira (1973) y confirmada por las experiencias de todos noso-

tros es que muchos de los frijoles sembrados por agricultores en América Latina son mezclas de varios genotipos, las cuales pueden ser mejoradas por la selección masal o de líneas puras.

2. Selección de líneas puras,— una línea pura es la descendencia de una sola planta homocigota y autógena, y la variedad desarrollada por este sistema es absolutamente uniforme. Teóricamente todas las plantas en una variedad de línea pura son exactamente iguales, asumiendo que la planta originalmente seleccionada sea homocigota para todos los pares de genes. Muñoz y Cárdenas (1950) mostraron un aumento hasta 64% de líneas seleccionadas sobre la variedad Mexicana original.

B. POBLACIONES HIBRIDAS de plantas autógenas recién han recibido mucha atención en cuanto a metodologías modificando las prácticas antiguas de Pedigree y Bulk.

1. Pedigree es el método mas conocido en el mejoramiento de los cultivos autógenos. Se seleccionan plantas F2 combinando las características deseadas, y se siga cada generación por plantas individuales hasta lograr la pureza genética deseada. El método sirve para caracteres de alta heredabilidad, pero ya hay mucha evidencia (Brim, 1975; Ríos, 1976; Hanson et al, 1962) en soya y frijol que el uso del pedigree en el F2 no ayuda en seleccionar para rendimiento.

2. Pedigree modificado .se refiere a un grupo grande de metodologías (Andrus, 1963), combinando aspectos del pedigree con selecciones masales en ciertas generaciones, y con cruzamiento entre hermanos de generaciones tempranas. La razón para la cual se ha escogido el pedigree modificado se debe a que aparentemente las poblaciones naturales mas adaptadas y estables no son básicamente homogéneas en estructura sino que son sistemas balanceados de individuos parcialmente heterocigotos en un estado de equilibrio. Por lo tanto los sistemas de mejoramiento deben tender hacia la producción de variedades mas bien homogéneas pero que tengan sistemas de genes balanceados en lugar de sistemas uniformemente homocigotos, estas variedades tendrán mejor adaptación debido a su mejorado sistema genético.

De aquí se desprende que el mejorador debe escoger el sistema de mejoramiento que mejor le permita obtener el máximo de uniformidad de las características deseables bajo unas condiciones ambientales que nunca son estables. Se ha clarificado últimamente que para muchas características importantes como rendimiento que dependen de muchos genes, la uniformidad no está basada primeramente en la homocigosis sino en la habilidad de un complejo de genes para responder variadamente a diferentes condiciones con el mismo patrón fenotípico. Como resultado de este análisis se han combinado los mejores procedimientos del sistema de

Pedigree con variaciones a fin de obtener un procedimiento más efectivo para la obtención de ese balance genético que se persigue.

3. Descendencia simple (single seed descent) es el método desarrollado por C.A. Brim del USDA. Consiste básicamente en avanzar una población utilizando solamente una semilla de cada planta en cada generación segregante. En esta forma, cada planta F5 procede de una planta F2 distinta, maximizando así la variabilidad genética indispensable para efectuar las selecciones en generaciones avanzadas. En la práctica las plantas que posean factores indeseables y altamente heredables se eliminan oportunamente durante el proceso de endogamia. El método es también muy eficiente respecto a tierra y el tiempo del fitomejorador.
4. Bulk en este método la selección se realiza en generaciones avanzadas como son la F5 o F6 en las cuales la segregación prácticamente ha terminado. Se seleccionan plantas y se siembran espaciadas y se practica un tamizado para resistencia u otro carácter que se está buscando. El siguiente ciclo se siembra las selecciones separadamente. Se puede volver a practicar una selección y llevarlas a ensayos de rendimiento en este ó el próximo ciclo.

El método del Bulk es simple, comúnmente barato y se requiere menos trabajo durante las generaciones tempranas, pero luego es necesario sembrar

miles de plantas seleccionadas para buscar los materiales recombinantes que se desean. Exito en obtener el rendimiento máximo de selecciones provenientes del método asume que la planta (hábito/arquitectura) más agresiva y competitiva (que llega a dominar en la población por su frecuencia), es la más rendidora. Es una relación que varía entre cultivos y (dentro de un cultivo) según los mismos padres de la cruce.

5. Bulk modificado combina el bulk con la selección de los genotipos superiores; existen varias modificaciones según el espaciamento y las condiciones deseadas para mostrar la variabilidad y seleccionar para ella. Jennings y Aquino (1968) utilizaron el bulk modificado para reducir el efecto de la competencia intraespecífica en seleccionar para rendimiento en arroz.
6. Selección masal es otro procedimiento que el mejorador usa en la búsqueda de recombinantes superiores, se basa en la eliminación de individuos indeseables y continua en forma masal con aquellos superiores obtenidos luego de la eliminación de los indeseables. El sistema de "selección masal progresiva" ocupa una sección de esta presentación.
7. Retrocruza - este método resulta en la transferencia de un carácter altamente heredable del padre donante al padre recurrente, sin modificar

sustancialmente la integridad del último, que debe ser realmente bueno para las demás características. Las características o genes para transferir se denominan genes bajo transferencia. Una vez realizada la cruce simple las progenies portadoras de los genes bajo transferencia en F1 o generaciones más avanzadas son retrocruzadas con el padre recurrente. Este proceso se repite de nuevo con los productos del retrocruce; generalmente se hacen 5 ó 6 retrocruces pero en casos especiales pueden ser más.

8. Selección recurrente, se ha propuesto este método para superar las limitaciones que surgen como consecuencia de la autofecundación y estrechamiento genético en el mejoramiento de las autógamas. Como es de esperarse la selección recurrente se ha aplicado en alógamas o en aquellas autógamas relativamente fáciles de cruzar (especialmente aprovechando esterilidad). Existen muchas variaciones del método y depende en el número y clase de caracteres para mejorar y las dificultades de ligamiento.

El proceso incluye cruces fraternales en generaciones tempranas y selección, procesos que se repiten varios ciclos hasta conseguir el incremento de las características que se persiguen. En algunos casos es necesario también meter la retrocruza al sistema a fin de obtener poblaciones

heterogéneas y seleccionar las líneas segregantes superiores que han de usarse como progenitores. La selección recurrente empleada por Brim (1975) en el mejoramiento de soya incluye: un gran número de cru-
zas, retrocruzas, cruas fraternales y selección por varios ciclos, que dieron origen a incrementos apreciables en las características bajo estudio. El procedimiento es complicado y complejo pero puede simplificarse usando la característica de esterilidad masculina recientemente observada por el mismo Brim y que se hereda como un carácter simple recesivo.

Resumen de Métodos. de todo lo anterior podemos concluir que existen tantos métodos de mejoramiento como fitomejoradores, pero todos ellos basados en los métodos convencionales tradicionalmente conocidos, y modificaciones de ellos en donde las distinciones antiguas no nos sirven. Lo importante, por supuesto, es que el método produzca el fin deseado, no que sea factible clasificarlo!

Avance genético por medio de la selección, es el objetivo primordial en el mejoramiento de plantas y animales. El avance de una generación a la próxima, y la forma de medirlo, varían con el carácter, pero la selección y el avance genético exigen:

- 1) Variación genética para el caracter, y
- 2) Una heredabilidad suficientemente alta para que la selección sea efectiva. También se mide avance por ciclo en sistemas (como de la selección recurrente) de mejoramiento que tengan en exceso de una generación por ciclo.

MEJORAMIENTO DEL FRIJOL EN AMERICA LATINA Y EL CIAT

Como las demás disciplinas, el objetivo primordial de fitomejoramiento es de aumentar la producción del cultivo. Pero el fitomejorador debe reconocer también las realidades de los factores limitantes:

- 1) Que el uso de productos agroquímicos no va a reducir la necesidad de incorporar resistencia genética para insectos y enfermedades. La resistencia varietal ayuda al agricultor grande en reducir sus costos de producción, y ayuda al agricultor pequeño en aumentar sus cosechas.
- 2) Que existen diferencias marcadas en cuanto al potencial y estabilidad de rendimiento entre variedades negras y no-negras sembradas en América Latina.

Existen varios programas nacionales, regionales e internacionales. Cada uno tiene sus objetivos, escogidos en base a los gustos de la gente que el programa debe servir, y las deficiencias conocidas del cultivo para su área de influencia. Ya les han elaborado algunas necesidades del cultivo en cuanto a su arquitectura, parámetros de adaptación y su reacción al complejo de plagas que limitan la producción.

Entonces el fitomejorador trabaja para unir las distintas características deseables en materiales que tendrán buena aceptación por los agricultores y el pueblo, midiendo y dando peso a cada característica.

Valdría la pena revisar las características genéticas, las cuales pueden ser metidas a un programa de mejoramiento genético (Cuadros 1 y 2). A seguir elaborando los criterios para caracteres patológicos:

1. La distribución del patógeno en el área de interés (o sea su "frecuencia").
2. La intensidad del daño en el rendimiento.
3. Su modo de sobrevivencia y transmisión.
4. La disponibilidad de materiales que puedan ser verdaderamente llamados "fuentes" o "donantes" de resistencia a la plaga.
5. La herencia de esta resistencia.
6. Los requisitos para conducir tamizados en poblaciones segregantes o sus familias.
7. Si es factible conducir el tamizado en pre-floración, para ganar eficiencia y tiempo en el cruzamiento?
8. La disponibilidad y costo de métodos alternativos de control.
9. Si existen las complicaciones de cepas, razas, o especies con daños parecidos y síntomas difíciles en separar (por ejemplo los virus y el complejo de pudriciones radicales).

Hay caracteres no-patológicos muy importantes en los cuales tienen sus criterios para considerar, tales como puntos 1, 2, 5 y 6 arriba mencionados. Además, para algunos caracteres estamos apenas conociendo la expresión del caractere en el trópico y los requisitos para trabajar y mejorarlos. Es obvio que para pesar bien los caracteres patológicos y no-patológicos, el fitomejorador debe ser sobre todo un buen agrónomo.

Con toda la información anterior en mano, y conociendo agronómicamente las debilidades de los materiales locales, el fitomejorador toma en cuenta sus recursos

(mano de obra, tiempo, dinero, tierra, programas hermanos colaborativos), y establece las prioridades para su programa. En cuanto a la selección de una metodología que le serviría mejor, el técnico debe considerar:

- 1) El número de características para las cuales los padres del cruzamiento varían.
- 2) El número de genes controlando la herencia de los caracteres, y su acción, penetrancia, expresividad, ligamiento (respecto a tamaño de la población).
- 3) La balanza (ajuste) entre el número de cruzas para trabajar y la intensidad del trabajo para cada crusa.
4. El papel de amplia adaptación en la zona frijolera, y las necesidades y facilidades de probar progenies en diversas localidades.

Hay varios ejemplos apuntados en la bibliografía de programas nacionales, regionales, e internacionales los cuales han salido de este procedimiento. Por supuesto, el resultado es distinto para cada cual.

El programa de Fitomejoramiento del CIAT, considerando los potenciales en distintos programas nacionales y regionales, ha tratado de identificar un papel del programa que sea una parte de la red multinacional y escoger las necesidades prioritarias y universales en América Latina.

Es conveniente dividir los materiales genéticos en cuatro grupos (Cuadro 3). En el corto plazo, el programa tratará de estabilizar los rendimientos potenciales (ya buenos) de la clase "Negro Arbustivo" por medio de resistencias claves. En

el caso de los "Arbustivos no negros" deseamos obtener mayores rendimientos y de una vez estabilizarlos por las resistencias. Para los frijoles volubles, esperamos identificar y estabilizar un rendimiento de 2.5 toneladas de frijol en asociación con una cosecha mayor de 4 toneladas de maíz. Aunque no estamos probando progenies del Hábito IV (voluble), son varios donantes claves de este hábito los que siempre segregan volubles en sus progenies. Finalmente, el programa está cruzando variedades comerciales de América Latina que no tienen resistencias claves para mostrar mayor grado de estabilidad, por donantes que sí las tienen. Las resistencias y los donantes varían con la variedad de interés.

Se nota inmediatamente que el programa está trabajando con fuerza para solamente 6 de los 20 factores patológicos y no-patológicos dentro del programa central del CIAT. Faltan conocimientos claves de las demás características que faciliten hacer tamizados, o faltan fuentes adecuadas para meter en el programa de hibridación, o tienen aspectos locales que pertenecen mejor a los programas nacionales.

Aprovechamos de una alta capacidad para hacer cruzas controladas, emasculando y polinizando dentro de una serie de invernaderos. Recién se ha dado mucho énfasis al escoger padres con alta frecuencia de genes resistentes para las ca-

racterísticas claves, incluir potencial de rendimiento (CIAT Informe Anual 19...
Hasta el momento cruces dobles, múltiples, y complejas han recibido poca prio-
ridad, debido al número de polinizaciones requeridos cuando se presenta segre-
gación gamética. Además, vemos como excelente la probabilidad de obtener reco-
binantes con las resistencias múltiples y otros caracteres deseables en pobla-
ciones provenientes de cruces simples y triplas. Sin embargo, ya estamos en-
trando en una fase en donde estaremos haciendo cruces complejas utilizando se-
lecciones avanzadas y segregantes escogidos como padres.

El sistema básico del programa es de Selección Masal Progresiva, en donde des-
de la generación F2 los materiales progresan paso por paso de los viveros ino-
culados con mosaico común, roya, antracnosis, y Empoasca, sencillamente o en
combinación (Figura 1). Sembramos viveros de las generaciones tempranas con
un espaciamento suficiente para que cada genotipo muestre su arquitectura, a-
provechando que el fisiólogo del programa evalúe el potencial y la variabilidad
de la población. El tamaño mínimo de cada población es de 200 plantas en F2 ó
F3.

Dentro del grupo de poblaciones, asignamos prioridades para la frecuencia de
resistencias claves, la frecuencia de plantas con buena arquitectura en la po-
blación, y siempre dando mayor opción a las cruces que segregan genotipos no-
negros que puedan (según las calificaciones de sus padres) recombinar resisten-

cias múltiples. Así el énfasis está dirigido hacia caracteres de alta heredabilidad en las primeras generaciones. Seleccionamos muy pocas cruzas (3% en 1976B) como prioridad 1, las cuales merecen cosechar y sembrar planta a surco en la siguiente generación.

Otro 20% merecen ir al próximo paso (vivero), pero no en la forma de familias sino como compuestos balanceados. El intento para estas cruzas no sería encontrar pronto familias homocigotas para resistencias múltiples - no podemos exigir tanto de una vez. Por el contrario, queremos mover/empujar la población en la dirección de resistencias múltiples, buena arquitectura y madurez variable, y (en muchos casos) a favor de colores no-negros. Es un trabajo que necesitará mas paciencia (tiempo), mayor tamaño de población y el intercruzamiento de progenies buenos pero incompletos (faltando caracteres claves). La razón para este último es que no existen materiales no-negros arbustivos que combinan resistencias múltiples y buena adaptación al trópico.

El compuesto balanceado (cosechando una o dos vainas por planta de las plantas deseables) nos sirve para asegurar que la representación de las cosechas sea igualada en la próxima siembra.

La mayoría de las cruzas están paradas en el F3 ó F4, guardando solamente la semilla Masal F3. Varias de ellas pueden ser interesantes en viveros especiales para mosaico dorado, empoasca, mustia, etc., pero las dejamos a considerar

en el camino central del programa. Siempre buscamos la planta rara dentro de todas las poblaciones, pero el número de selecciones individuales en poblaciones de prioridad 2 o 3 es bajísimo.

El sistema de Selección Manual Progresiva nos ofrece mucha flexibilidad útil en planear el manejo de cada crusa. Según nuestro conocimiento de los padres y objetivos de una crusa, podemos o mandarla al vivero de inoculación manual con mosaico común, o al vivero de infestación con roya, ó al vivero que contiene ambos factores. Aprovechamos de la oportunidad para aumentar o reducir el tamaño de cada población según su mérito y la frecuencia de segregantes esperados (conociendo la reacción de sus padres para los 15 caracteres. Además, existe la posibilidad de mover la población al nivel de prioridad uno en cualquier generación.

Debemos siempre mantener variabilidad genética para rendimiento, madurez, arquitectura de planta, y color del grano hasta las generaciones avanzadas, esperando que los investigadores en programas nacionales trabajen para identificar y purificar las poblaciones según sus gustos. Además, son otros factores que exigen el desarrollo de viveros internacionales:

- 1) La existencia de cepas/razas para algunas enfermedades, así como la segregación para genes modificadores en el frijol.
- 2) Variabilidad local en cuanto a las necesidades agronómicas para que sea buena variedad.
- 3) Oportunidad de seleccionar para componente local de adaptación dando potencial de rendimiento.
- 4) La necesidad básica que los programas nacionales y el equipo del CIAT trabajen juntos para obtener utilidad máxima de los materiales genéticos.

Hay planes para iniciar, a mediados de 1977, dos sistemas de ensayos en localidades múltiples: 1) Ensayo de rendimiento y adaptación para progenies F5 saliendo de Selección Masal Progresiva en 3 localidades que varían en temperaturas y radiación solar.

2) Ensayo internacional de progenies elites que se destacaron en el ensayo (1), conducido por Agronómia. Dada la variabilidad en las condiciones ambientales para la producción del cultivo, y los gustos de distintas zonas en el consumo, la respuesta e intercambio de ideas relacionado con el vivero internacional de progenies es de alta prioridad.

Quando iniciemos cruzas entre selecciones ya resistentes a combinaciones claves de plagas y con buen rendimiento, dentro de un año, será posible y deseable avanzar poblaciones en generaciones F3/F4 a los viveros internacionales.

Empleamos en el trabajo del campo y la revisión final de los materiales que van al campo en el próximo ciclo, la capacidad del Sistema de Información de Fitomejoramiento de Frijol (SIFPRI), un soporte de apoyo combinando los técnicos y recursos de Biometría y Fitomejoramiento de Frijol en el servicio de todo el equipo de Frijol. La operación del SIFPRI ha sido elaborada en un documento por Hurtado y Porras (1976). Las capacidades claves del SIFPRI son:

- 1) Hay integración completa en base al material genético desde el banco de germoplasma hasta promisorios, progenitores, sus cruzas y progenies.
- 2) El SIFPRI nos proporciona etiquetas con el pedigree y la reacción de los padres a unos 15 caracteres claves (son del grupo en cuadros 1 y 2). La información nos sugiere el camino más lógico para el material en el sistema de la Selección Masal Progresiva.
- 3) Las etiquetas van al campo pegadas a las tarjetas de información. La tarjeta es un libro de campo y la historia para los progenies provenientes de cada cruza. Información en la tarjeta es progresiva tras generaciones, como la semilla que representa.

Son tres las tarjetas de información. Una lleva los datos desde el cruzamiento hasta la cosecha del tarro de semilla Bulk F3 que nos sirve como recurso genético de la cruza. La segunda tarjeta tiene los datos morfofisiológicos del

progenie, y la tercera tarjeta tiene los datos e historia de su manejo en la Selección Masal Progresiva.

Aparte del objetivo central del programa, trabajamos en un grupo de proyectos, los cuales están elaborados en el cuadro 4. Tratamos de aprovechar la asistencia técnica de candidatos post-graduados y la oportunidad de tener viveros colaborativos internacionales para lograr avances en estos proyectos. Como se puede ver, utilizamos libremente modificaciones de selección recurrente, metodología escogida para mejorar cultivos alógamos, pero últimamente aplicado con resultados favorables al mejoramiento de los autógamos. Aunque los detalles varían según el objetivo, la figura 2 nos sirve como ejemplo del método aplicado hacia el aumento en niveles de resistencia a Empoasca.

III. RENDIMIENTO DEL FRIJOL Y SU SELECCION EN LAS GENERACIONES TEMPRANAS

No hemos tratado todavía la selección para rendimiento, sino que hemos dicho que sería deseable dejarla hasta generaciones avanzadas. Valdría la pena presentar un resumen breve de las experiencias con frijol y otros cultivos sobre este aspecto.

Brim (1965) desarrolló un método de pedigree modificado llamado "decendencia simple", en el cual cosechó una vaina de cada planta tras generaciones, con