

## TECNICAS Y METODOS DE MEJORAMIENTO GENETICO APLICADOS EN SORGO GRANIFERO (Sorghum bicolor L. Moench)

Carlos Julio Carvajal Florez\*

### 1. MORFOLOGIA DE LA PANOJA

En los cereales la inflorescencia se presenta de dos tipos: la espiga y los racimos compuestos llamados panoja. La inflorescencia del sorgo es una panoja, parece ser una continuación del eje vegetativo con el mismo esquema dístico del resto del tallo. El eje principal está dividido en nudos y entrenudos. Las ramificaciones primarias aparecen en los nudos, distribuidos en verticilos, uno alrededor del otro. Los ejes laterales se ramifican varias veces hasta dar ramificaciones de tercer orden, las cuales forman una o dos espiguillas donde se alojan las semillas. Una es fértil y sésil y la otra estéril, por lo general pedicelada.

La espiguilla es la unidad de la inflorescencia: la fértil consta de un eje corto o raquis, sobre la cual aparecen las siguientes estructuras: la primera, gluma; la segunda, una flor estéril y una fértil. La flor inferior queda reducida a una escama, la superior es sésil y está compuesta por una lema, una palea, dos lodículas, un androceo con tres estambres (partes funcionales masculinas formados por anteras que contienen el

---

\*Ingeniero Agrónomo M.Sc. Jefe Sección Sorgo ICA CRI Nataima, apartado Postal 40, Espinal Tolima.

polen y los tallos de las anteras llamados filamentos) y un ovario ovalado, con dos pequeños estilos, terminando cada uno en un estigma plumoso.

## 2. TECNICAS DE POLINIZACION

### 2.1 AUTOFECUNDACION

El sorgo es una planta que posee flores completas (ambos sexos en la misma planta) y la autofecundación se realiza fácilmente colocando una bolsa de papel sobre la panícula, una vez que ha salido de la vaina foliar, pero antes de abrirse las flores. La bolsa puede permanecer en la panoja seis a nueve días, tiempo requerido para que se efectúe la polinización.

En algunos sorgos la polinización cruzada varía entre 1 y 10%, en otro llega hasta el 40%. La variación depende del grado de compactación de la panoja (los tipos de panojas laxas son más propensos a la polinización cruzada). A pesar de ello, se considera al sorgo generalmente como una planta de polinización cerrada, con menos del 10% de alogamia.

### 2.2 EMASCULACION Y CRUZAMIENTOS

Existen varios métodos de emasculación en sorgo:

#### 2.2.1 Emasculación manual

Consiste en extraer las anteras de las espiguillas con una pinza o con la punta de un lápiz en un sector de la panoja que se encuentre próximo a florecer. Estas espiguillas se cubren con un glassine (bolsa de papel transparente). Uno o dos días más tarde, cuando broten los estigmas plumosos, se elige el polen del progenitor masculino, para ser espolvoreado sobre los estigmas expuestos.

### 2.2.2 Emasculación con agua caliente

Se vacía agua caliente (42°C) dentro de una bolsa de plástico que rodea a la panoja, durante diez minutos. La bolsa se hace de un tubo plástico ajustado estrechamente alrededor de la panoja. El porcentaje de flores esterilizadas es variable, usualmente ocurre algo de autofecundación y las plantas autofecundadas deben identificarse en la población F<sub>1</sub>.

### 2.2.3 La técnica de la bolsa plástica

Es un método efectivo porque la humedad generada dentro de la bolsa previene la dehiscencia de las anteras. La flor se abre y emergen las anteras pero no hay emisión de polen.

## 3. FORMACION DE POBLACIONES

Es factible obtener avances rápidos con mejoramiento sacrificando pérdidas en la variabilidad genética. Es así como el mejorador no solo

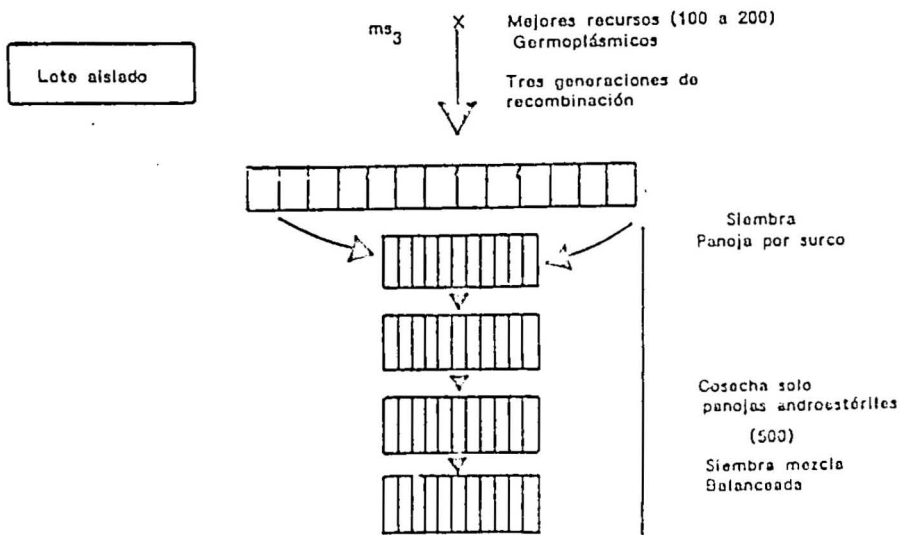


FIGURA 1. Método para formar poblaciones en sorgo con base en recursos COES ms<sub>3</sub>

debe objetivizar las ganancias en los caracteres de interés, sino debe también empeñarse por conservar y/o aumentar la variación. Uno de los mecanismos usados es la introducción de colecciones de otros programas de mejoramiento, o la formación de compuestos, a través de recursos genéticos apropiados, como se ilustra en la Figura 1.

Usando el recurso genético coes,  $ms_3$ , se pueden formar poblaciones, para lo cual se escogen las mejores colecciones o variedades (100 a 200) que deben ser plantadas en lotes aislados para permitir la libre combinación de ellas con las plantas estériles  $ms_3$ , las cuales se identifican durante la floración y en el momento de la cosecha eliminar aquellas afectadas por enfermedades y valor agronómico bajo. Cada panoja seleccionada se desgrana individualmente para hacer una mezcla balanceada y conformar el próximo ciclo de recombinación. Este procedimiento debe realizarse durante tres ciclos y al término del mismo, la población ha cambiado de acuerdo al programa diseñado por el mejorador.

Bajo este criterio deberán formarse varias poblaciones que se mantendrán en sendos lotes aislados. Ellas al combinarse deben manifestar vigor híbrido.

#### 4. INTRODUCCIONES

Las introducciones como método de mejoramiento de plantas implica el traslado de material genético vegetal proveniente esencialmente de los centros de origen o de los institutos internacionales de mejoramiento. La adquisición de híbridos y variedades superiores importadas de otras zonas, cumple la misma finalidad que la obtención de variedades en los programas locales de mejoramiento. Sin embargo, las posibilidades de éxito son bajas porque la adaptación normalmente requiere de selección local. Frecuentemente se requiere igual o más tiempo en el programa de introducción que el que se necesitaría si se iniciara con el mejoramiento de plantas desde el principio, cuando el programa de mejoramiento

to es antiguo. Si el programa es nuevo, las introducciones con material de amplia base genética sería la clave del éxito para obtener variedades o líneas superiores.

Evaluadas las accesiones (colecciones), los recursos germoplásmicos más sobresalientes pueden mejorarse a través de la selección masal (tipo tradicional) o la selección genealógica, panoja por surco.

El progreso más rápido hacia el desarrollo de líneas superiores es posible con el uso de la selección genealógica dentro de nuevas introducciones.

La Figura 2 presenta un diagrama en el cual se hace uso de la selección genealógica, a partir de un recurso germoplásmico, con máximo grado de variabilidad genética, poblaciones  $F_2$  y/o  $F_3$ . Durante el primer ciclo se planta cada accesión en surcos individuales para caracterizar las entradas que muestren adaptación, tolerancia a plagas y enfermedades. En cada una de ellas se aumenta el material para sembrar durante dos o tres generaciones y obtener líneas homocigotas en quinto grado de endogamia. A partir de ella la selección debe hacerse mediante la evaluación en ensayos de rendimiento, lo cual reduce drásticamente el número de materiales diferentes y la variación genética sobre la cual se basa la selección. Las líneas más sobresalientes se llevan a pruebas en tiempo y espacio, para determinar su nivel de comportamiento en ambientes diferentes al sitio de mejoramiento. En ellos se incluyen testigos comerciales. Los materiales de mejor estabilidad fenotípica, se plantan en el semestre siguiente en lotes semicomerciales a la vez que se aumenta la semilla básica.

Otra alternativa es el manejo de las introducciones a través de selección masal tradicional que consiste en plantar en lotes aislados los recursos germoplásmicos más sobresalientes obtenidos a través de evaluaciones preliminares. Cuando se usa la selección masal las plantas deben espaciarse lo suficiente, con el propósito que cada individuo dentro de la

## PROGRAMA DE INTRODUCCIONES

Poblaciones  $F_2$  y/o  $F_3$

CICLOS:

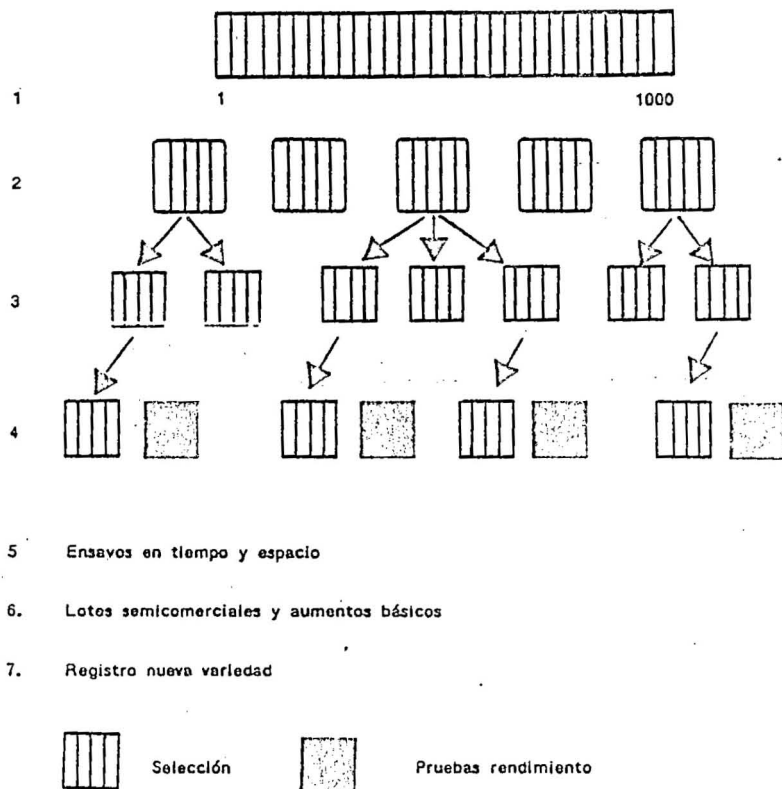


FIGURA 2. Diagrama del método para formar variedades a partir de introducciones

población exprese su potencial máximo. Esta técnica de selección masal es fácil de usar y es efectiva, en particular, si el carácter de interés posee una alta heredabilidad. Es especialmente útil si la población es heterogénea, heterocigota y con alta variación genética aditiva.

Las Introducciones en sorgo pueden ser de:

Poblaciones  $F_2/ F_3$

Líneas A, B y R

Recursos genéticos:  $ms_3$  al  $ms_7$

Viveros específicos

Tolerancia a sequía

Tolerancia a Diatraea

Tolerancia a hongos panoja

Tolerancia a humedad

Resistencia a enfermedades foliares

## 5. HIBRIDACION

### 5.1 HIBRIDACION INTERVARIETAL

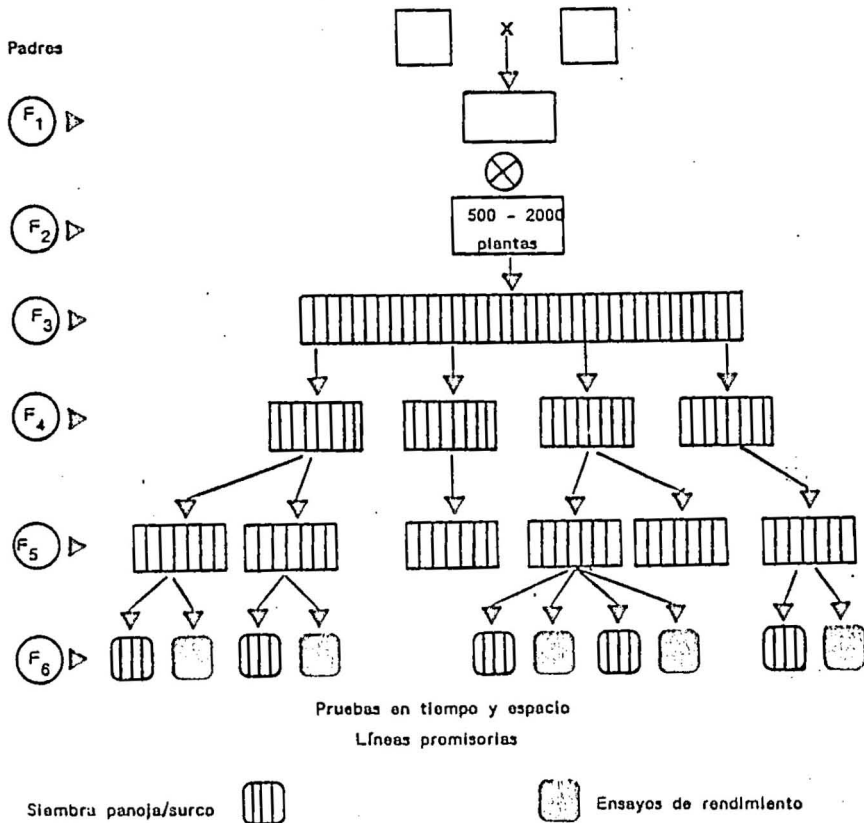
En general los programas de fitomejoramiento se dedican al desarrollo de nuevas líneas con mejores atributos de maduración, estatura de plantas, tipo de endosperma, resistencia a enfermedades, rendimiento y capacidad de combinación. En razón a que todos los caracteres no se expresan en un solo genotipo, se debe recurrir a la hibridación para concentrar en una línea tantos atributos como sea posible.

En un programa de cruzamientos se seleccionan los progenitores que posean compartidos los caracteres deseados. La primera generación  $F_1$  es plantada y autofecundada. La expresión de las plantas  $F_1$ , es igual, si las dos variedades progenitoras son homocigotas. Se cultiva al semestre siguiente una generación segregante  $F_2$ , autofecundando los individuos de dicha población que reúnan los objetivos propuestos. El tamaño de la población  $F_2$ , depende de la cantidad de caracteres a seleccionar y de los mecanismos hereditarios. Así, si queremos cuatro genes recesivos en la nueva línea, y existe herencia independiente, sería de esperar que

sólo aparezca una planta cuádruple enana en 256 plantas observadas. Por esta circunstancia generalmente se cultivan poblaciones  $F_2$  superiores a 500 plantas. En la cosecha de no presentar ligamento o anomalías génicas se seleccionan, entre 50 y 100 panojas  $F_2$  y se desgranán individualmente.

En las generaciones posteriores cada panoja escogida se siembra en el semestre siguiente bajo el sistema panoja surco, hasta llegar a encontrar un aspecto similar en toda la progenie (hilera), condición que suele ocurrir en la quinta o sexta generación de autofecundación. Las líneas así conformadas se prueban en otras variedades comerciales, en diversos ambientes, para determinar el nivel de adaptación de los nuevos genotipos obtenidos. Las variedades de mejor comportamiento se registran como nuevos recursos para ser usados por los agricultores. (Figura 3).

FIGURA 3. Esquema del método de la hibridación intervarietal en sorgo.



## 5.2 FORMACION DE HIBRIDOS

Uno de los objetivos en un programa de hibridación con base en líneas androestériles es obtener líneas B que produzcan androesterilidad completa y líneas R que recuperen totalmente la fertilidad del híbrido  $F_1$ , además, de presentar alta aptitud de combinación.

Un híbrido en sorgo es el resultado del cruzamiento de un progenitor femenino (línea A) con otro masculino (línea R) que recupere la fertilidad masculina en la generación siguiente.

La hibridación a nivel comercial sólo es posible haciendo uso de la esterilidad genético-citoplásmica. Tres recursos genéticos son necesarios para lograr dicho propósito: línea A, línea B y línea R.

Las líneas A, se obtienen a partir de las líneas B y éstas se forman de poblaciones utilizando la esterilidad masculina  $ms_3$ , o a través de la hibridación inter-B. Una vez establecidas las poblaciones, el paso siguiente consiste en purificarlas hasta obtener líneas con cierto grado de homocigosis. En la generación  $F_4$ , se inicia el programa de conversión de líneas B en A, por selección de progenies apareados en un programa de retrocruzamiento.

Datos adicionales desde esta generación como floración 50% antesis, índice fenotípico, tamaño de semilla, esterilidad, altura de plantas, quemazón, producción de polen, calidad de tallo, tipo de panoja, macollamiento, color de las semillas, se constituyen en variables para agrupar las líneas e iniciar las pruebas de coincidencia para hibridación comercial futura.

La conversión de líneas B en líneas A, a través de progenies apareadas se ilustra en las Figuras 4 y 5, Tabla 1, donde se puede observar que el programa se inicia utilizando una matriz de conversión donde se realizan los cruzamientos con las líneas o familias ( $F_4$ ), las cuales están proyectadas para formar los progenies por pares.

FIGURA 4. CONVERSION DE LINEAS B

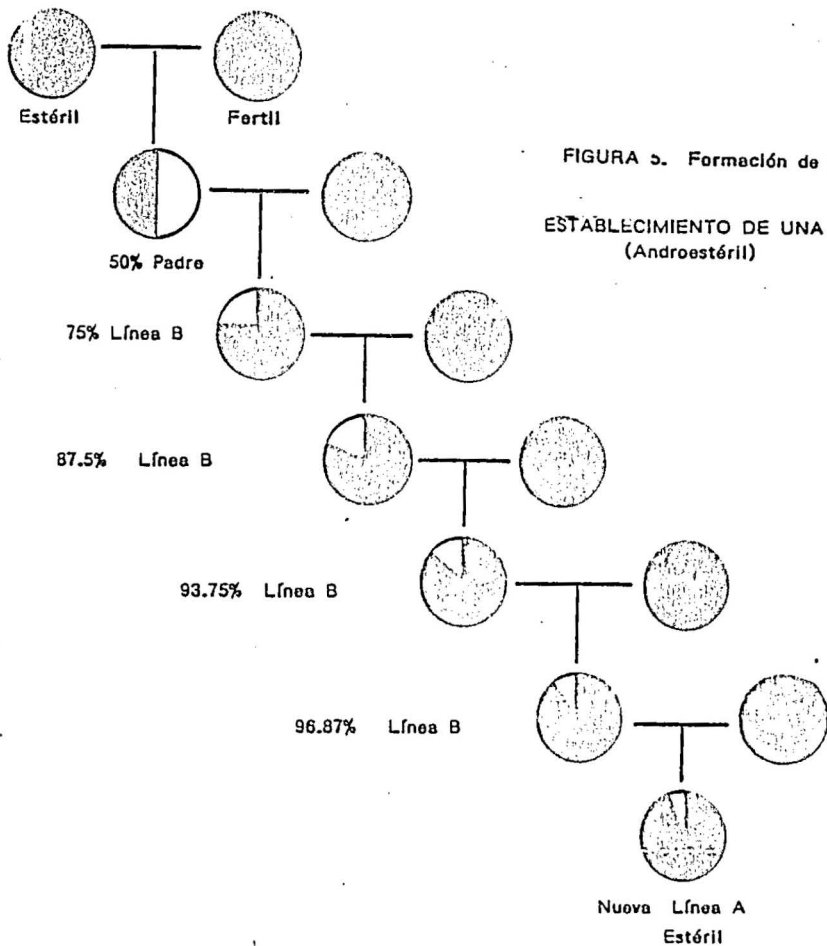
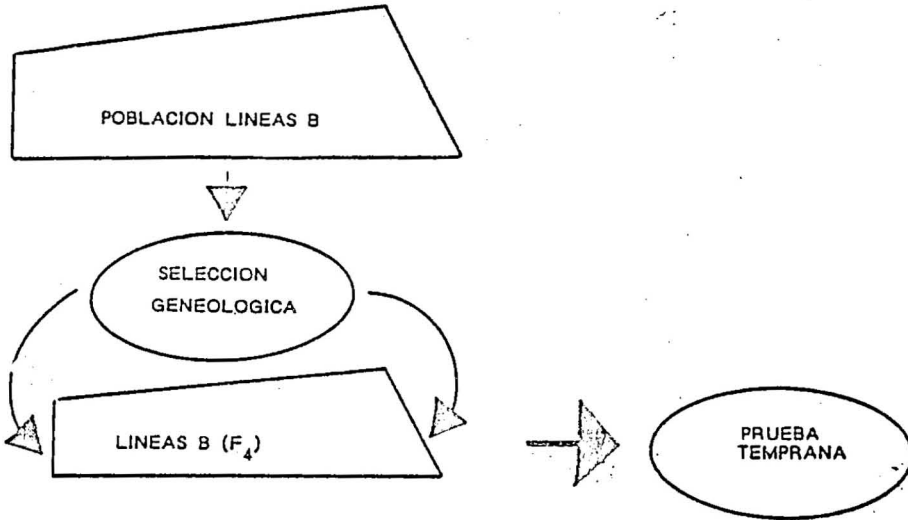


FIGURA 5. Formación de Líneas A  
ESTABLECIMIENTO DE UNA LINEA A  
(Androestéril)

Cada individuo (planta) de la familia respectiva se identifica una vez que el cruzamiento se ha efectuado. El producto del cruzamiento (A x B) y el B, respectivo se siembran en surcos vecinos, para que durante la floración por similitud fenotípica se efectúe el primer retrocruzamiento. Este proceso se repite durante 5 ó 6 generaciones al cabo de las cuales, se obtiene la línea A, isogénica con la B respectiva.

TABLA 1. Ciclos Iniciales en el establecimiento de líneas androestériles

1. COSECHA

MATRIZ DE CONVERSION	BLOQUE DE LINEA B ( $F_4$ ) (40 líneas)
Parcela No.11	Parcela 12 a 50

2. COSECHA

a. Observación cruzamientos ( $F_1$ )

Líneas A x Líneas (x)  $\begin{matrix} B \\ R \end{matrix}$

b. Si  $F_1$  es estéril — Líneas X — Líneas B

3. COSECHA

			Origen
87221	(11A x 12B)	1, 2, 3, ..... 10	87111 x 87112
87222	12B	1, 2, 3, . . . . . 10	57112

(11A x 12B) - x 12B - 1	
(11A x 12B) - x 12B - 2	Eliminar progenies con esterilidad
(11A x 12B) - 10 x 12B - 10	parcial

Si el programa de hibridación cruza sólo líneas R entre sí, la mayoría de los progenies resultantes serían completamente fértiles cuando se

cruzan con líneas A. Sin embargo, con alguna frecuencia se intercambian B y R si se desea transferir algún carácter hacia las futuras líneas R. En este caso el procedimiento es parecido al de progenies numerados.

En la mayoría de los programas de hibridación un progenitor es la mejor línea "Elite" con alta aptitud combinatoria. Dicha capacidad sólo se puede descubrir en las pruebas de rendimiento de los híbridos, por lo tanto, este reconocimiento del valor de las líneas es posterior a la selección de las líneas.

En la generación  $F_8$ , se entregan las líneas A, B y R para el manejo en viveros de reacción a la pudrición carbonosa de la base del tallo, al virus (SCMV), cenicilla, antracnosis-Fusarium, hongos de grano (Fusarium, Curvularia), Cercospora, Gleocercospora, Acremonium y roya. Las líneas que expresen tolerancia continúan su proceso de endogamia a la generación siguiente,  $F_9$ , en las cuales se realizan las pruebas de habilidad combinatoria. Simultáneamente, se toma la información sobre los criterios primarios de selección. Las mejores panojas en cada familia autofecundada, se cosechan para ser usadas en la formación de híbridos. El resultado de los ensayos de rendimiento determinan que las líneas de alta capacidad combinatoria son avanzadas para la próxima generación.

Híbridos con estas líneas se evalúan por comportamiento y son cuidadosamente agrupados por precocidad, estatura y tipo de adaptación. Paralelo a esta actividad, los pares de líneas A y B son incrementados y las líneas R de los híbridos purificadas. Datos adecuados, tomados en diferentes ambientes, permiten caracterizar las líneas por resistencia y factores agronómicos.

Las líneas que han sobrepasado las pruebas en generaciones anteriores se evalúan a través de híbridos en zonas específicas con testigos comerciales para cada ambiente. En los incrementos individuales, panoja/surco, en pares, se evalúa la pureza de las líneas A, para lo cual se plantan 20 surcos de cinco metros de cada línea. Diariamente durante la floración

se observa el comportamiento por esterilidad, calidad y expresión de los estigmas. Además, se embolsan cinco panojas en cada surco para verificar el nivel de esterilidad. Las líneas A, B y R son evaluadas por uniformidad y caracteres fenotípicos.

Normalmente, el incremento de tres surcos en cada línea A conforma el programa de evaluación con pureza, el cual debe cumplir las siguientes tolerancias: cero tipos plantas contaminadas, dos plantas estériles, mutantes en altura ( $DW_3$ ).

Este programa implica que sólo deben utilizarse pares de plantas con autofecundaciones en panojas seleccionadas, de lo contrario, el incremento de la semilla genética es crítico o dramático y mayor será si este recurso es usado en la producción de semilla híbrido. De ser así ocasionaría baja calidad de la semilla aumentando los costos de producción del híbrido.

Solo se aumenta la semilla de la línea que cumpla con los requisitos de pureza y calidad, la cual se identifica y es nominada. Con estos criterios de tolerancia se aumentan las líneas, en cantidades de 4 kg para la línea A, 2 kg para la B y 2 kg para la R. En la generación siguiente se evalúa la pureza de las líneas A, cuyas tolerancias son: cero plantas fértiles y dos mutantes por altura.

Una vez que las líneas y los híbridos han superado las pruebas de mejoramiento genético se realizan los ensayos en diferentes ambientes para determinar y comprobar su nivel de adaptación. Los genotipos de mayor estabilidad fenotípica se registran como híbridos comerciales. Colateralmente a esta actividad, se aumentan los parentales en áreas de  $5.000 \text{ m}^2$ , en regiones donde no existan contaminantes como pasto Johnson y/o Sudán. Las líneas parentales deben conservar la pureza genética exhibida en las generaciones anteriores.

## 6. RETROCRUZAMIENTO

Dicho procedimiento se usa para transferir un carácter deseable de un padre (no recurrente) a otros progenitores (recurrentes).

### 6.1 RETROCRUZAMIENTO PARA OBTENER LINEAS ANDROESTERILES

En sorgo se utiliza este procedimiento para formar padres androestériles que pueden ser empleados como progenitores femeninos en la producción de híbridos a nivel comercial. A través del retrocruzamiento es posible recuperar el fenotipo del padre recurrente pero con esterilidad masculina.

### 6.2 RETROCRUZAMIENTO PARA TRANSFERIR UN CARACTER SIMPLE RECESIVO

Si el factor se hereda en forma simple, es fácil recuperar el fenotipo recurrente con el carácter deseado incorporado. Como el carácter recesivo no se expresa en la  $F_1$ , se requiere la autofecundación continuada para que los genes recesivos se manifiesten durante el proceso de retrocruzamiento.

Si asumimos que "a" exprese el carácter recesivo, la  $F_1$  será Aa, resultante del cruzamiento AA x aa y el primer retrocruzamiento sería Aa x AA con progenie  $1/2$  Aa y  $1/2$  AA. Al autopolinizar dicha progenie el heterocigoto en proporción 1AA: 2Aa: 1aa. En la  $F_2$  la progenie estaría conformada por 5AA:2AA: 1aa ( $1/8$  aa, sería del fenotipo recesivo). El segundo retrocruzamiento se simbolizaría así: aa x AA, repitiendo el proceso en cada generación.

## BIBLIOGRAFIA

- ARBOLEDA R., F. El programa de investigaciones en sorgo, objetivos resultados y proyecciones. CNI Palmira. Agosto de 1984.
- BENNETT, W. F. and TUKER, B. Producción moderna de sorgo granífero. Editorial Editorial Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires. Argentina.
- BERRY, Ch. Sistema de producción de semillas original y básico. Memorias taller sobre la producción de semilla de sorgo en América Latina. 13 - 17 octubre 1985. El Batán, México.
- CARVAJAL F., C. Herencia del color de la semilla en sorgo. Exitos del ICA 25 años. XII Congreso Nacional de Ingenieros Agrónomos. Neiva 1987.
- HOUSE, L. R. El sorgo, guía para su mejoramiento genético. Universidad Autónoma Chapingo, México 1982.
- TORRESGROZA C., M. Métodos de mejoramiento genético del sorgo granífero. CNI Tibaitatá. 1982.
- WALL, S. J. and ROSS, W. Producción y uso del sorgo. Centro Regional de Ayuda Técnica (A.I.D.). Primera edición. Buenos Aires, Argentina. 1975.