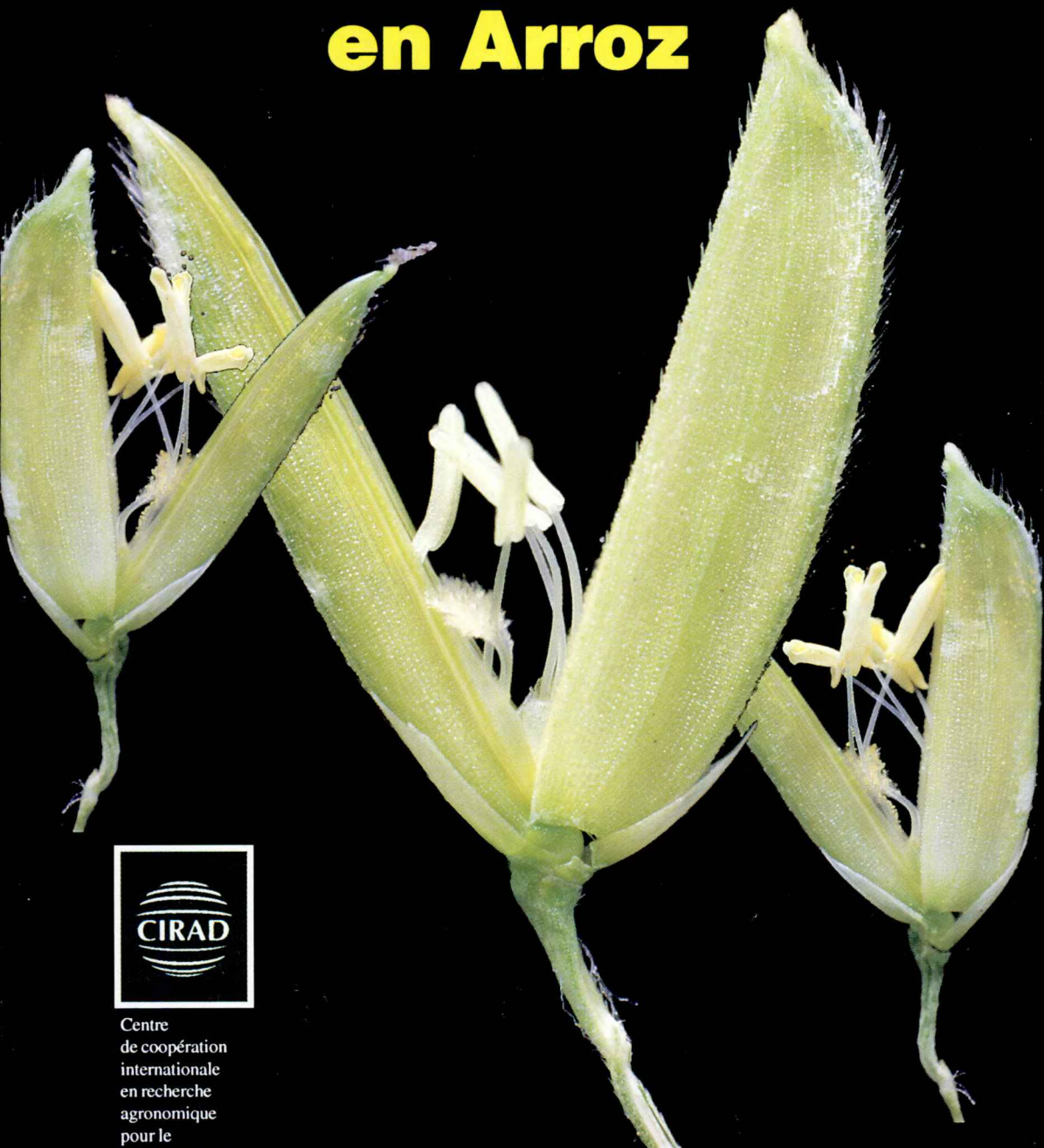


Selección Recurrente con Androesterilidad en Arroz



Centre
de coopération
internationale
en recherche
agronomique
pour le
développement

Département
des cultures
annuelles
CIRAD-CA



CIAT

Centro Internacional de Agricultura Tropical
International Center for Tropical Agriculture

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) se dedica al alivio del hambre y de la pobreza en los países tropicales en desarrollo, mediante la aplicación de la ciencia para el aumento de la producción agrícola, conservando, a la vez, los recursos naturales.

El CIAT es uno de los 16 centros internacionales de investigación agrícola auspiciados por el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCIAT).

El presupuesto básico del CIAT es financiado por 23 donantes, entre los que figuran gobiernos de países, organizaciones para el desarrollo regional e institucional y fundaciones privadas. En 1995, los siguientes países son donantes del CIAT: Alemania, Australia, Bélgica, Brasil, Canadá, China, Colombia, España, los Estados Unidos de América, Francia, Holanda, Japón, Noruega, el Reino Unido, Suecia y Suiza. Las entidades donantes son el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco Mundial, la Fundación Ford, la Fundación Rockefeller, la Fundación Sasakawa, la Unión Europea (UE) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

La información y las conclusiones contenidas en esta publicación no reflejan necesariamente los puntos de vista de los donantes.

Selección Recurrente con Androesterilidad en Arroz

Marc Chatel
Programa de Arroz, CIRAD-CA

Elcio P. Guimarães
Programa de Arroz, CIAT



Centre
de coopération
internationale
en recherche
agronomique
pour le
développement

Département
des cultures
annuelles
CIRAD-CA



Centro Internacional de Agricultura Tropical
Apartado aéreo 6713
Cali, Colombia

Publicación CIAT No. 246
ISBN 958-9183-67-0
Tiraje: 500 ejemplares
Impreso en Colombia
Junio 1995

Chatel, M. y Guimarães, E. P. 1995. Selección recurrente con androesterilidad en arroz. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement - Département des cultures annuelles (CIRAD-CA) y Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 70 p. [Publicación CIAT No. 246]

Marc Chatel es fitomejorador del Programa de Arroz del CIRAD-CA, Montpellier, Francia, actualmente asignado al Programa de Arroz del CIAT. Elcio P. Guimarães es fitomejorador del Programa de Arroz del CIAT, Cali, Colombia.

Contenido

	Pág.
Prólogo	v
Acrónimos y Abreviaturas	vii
Capítulo 1 Manejo de la Selección Recurrente	1
Introducción	1
Formación de la Semilla de Arroz	1
El Gen de Androesterilidad	2
Población de Genotipos Recombinantes	6
A. Población monocitoplasmática	6
B. Población policitoplasmática	8
Mantenimiento Activo de Poblaciones	10
A. A partir de plantas androestériles	10
B. A partir de plantas fértiles	12
Mejoramiento de Poblaciones	14
A. Selección recurrente basada en plantas androestériles	14
B. Selección recurrente basada en plantas fértiles	22
Extracción de Genotipos para la Selección de Líneas	30
A. Por el método del pedigrí	30
B. Por el método del cultivo de anteras	32
Introducción de Nueva Variabilidad en las Poblaciones	32
Referencias	42
Bibliografía Reciente	42
Pancartas (posters) Presentadas	43
Capítulo 2 Ejemplos del Uso de la Selección Recurrente	45
Ejemplo 1. Selección Recurrente para Arroz de Riego...	45
Ejemplo 2. Selección Recurrente para Arroz de Secano...	47
Ejemplo 3. Selección Recurrente por Resistencia a la Piricularia y al Virus RYMV...	49
Ejemplo 4. Selección Recurrente para Arroz de Zonas de Altura...	51
Ejemplo 5. Selección Recurrente del Arroz de Zonas Bajas...	53
Resultados y Perspectivas	54



Capítulo 3	Nomenclatura para el Arroz Mejorado por Selección Recurrente	55
	Introducción	55
	Nomenclaturas Existentes	55
	Propuesta de Nomenclatura Estándar	57
	Selección de Líneas Elite	60
	Consideraciones Adicionales	61
	Ejemplo de Registro de una Población	61
	Referencias	64
Apéndice A	Cálculo de la frecuencia de plantas androestériles en una población que segrega respecto al gen <i>ms</i>: Población policitoplasmática	65
Apéndice B	Cálculo de la frecuencia de plantas androestériles en una población que segrega respecto al gen <i>ms</i>: Selección de androestériles, evaluación... y recombinación partiendo de las fértiles	67
Apéndice C	Método ideal de mezclar semillas de progenies seleccionadas que segregan según el gen <i>ms</i> de androesterilidad	69

Prólogo

El mejoramiento de una especie vegetal es un proceso de larga duración. Por medio de él, el hombre hace evolucionar las plantas que poseen determinados caracteres genéticos, pero en provecho propio; es decir, propicia la expresión de los que considera útiles y la desaparición de los perjudiciales, según un criterio relativo de daño o beneficio. La primera etapa del proceso es la domesticación de una especie salvaje. Vienen luego las tentativas pacientes de innumerables agricultores que seleccionan los mejores descendientes, tanto de las mutaciones como de los cruzamientos naturales. En el siglo XX, los mejoradores han relevado a los agricultores en esa tarea con el fin de acelerar, aplicando métodos más apropiados, el proceso de mejoramiento.

Los mejoradores de arroz, como los de otras especies autógamas, han aplicado, básicamente, la *selección genealógica* a descendientes que provienen casi siempre de cruzamientos simples. Han aprovechado, sin duda, la aparición natural o provocada de mutantes, cuya importancia se ha manifestado, por ejemplo, en el gen del semenanismo. Las mejores líneas así obtenidas suelen usarse, a su vez, como progenitores en nuevos cruces.

La selección genealógica ha demostrado su eficacia: mediante ella se produjo un sinnúmero de variedades mejoradas con las que se resolvieron situaciones agrícolas difíciles. No obstante, este método no permite explotar plenamente la variabilidad genética disponible, por varias razones. Una de ellas es que limita las recombinaciones y, en consecuencia, la posibilidad de seleccionar genes favorables que codifican para caracteres de baja heredabilidad.¹ Otra razón —relacionada con la base genética estrecha de los progenitores que se someten a un método de selección a corto plazo— es que no ha utilizado los cientos de variedades que califican como progenitores potenciales y que están almacenadas en nuestros bancos de germoplasma.

La *selección recurrente* permite ampliar inicialmente la base genética y enriquecerla luego con introducciones. La sucesión de ciclos cortos de selección y el entrecruzamiento de los genotipos elegidos aumentan las recombinaciones y, en consecuencia, hacen un mejoramiento paulatino de la población, sin que la variabilidad genética de ésta resulte muy afectada.² La selección recurrente es, por ello, una labor que planifica el futuro a largo plazo pero que ambiciona responder a corto plazo. Lo primero, porque mantiene y enriquece la variabilidad genética; lo segundo, porque en cada etapa del proceso es posible seleccionar plantas para desarrollar líneas fijas. Se alcanzan así los objetivos del trabajo de mejoramiento, a saber, la obtención de líneas fijas y el aumento en la capacidad de combinación para la selección de variedades híbridas.

1. Gallais, A. 1977. Amélioration des populations, méthodes de selection et création de variétés; 1: Synthèse sur les problèmes généraux et sur les bases théoriques pour la sélection récurrente intra-population. Ann. Amélior. Plant. (Paris) 277:281-330.

2. Kervella, J.; Goldringer, I.; y Brabant, P. 1991. Sélection récurrente chez les autogames pour l'amélioration de variétés lignées pures: Une revue bibliographique. Agronomie 11:335-352.

Varias especies autóгамas han sido sometidas a la selección recurrente; por ejemplo, avena, trigo, cebada, sorgo, soya, frijol, tabaco, algodón. Los mejores resultados se obtuvieron cuando se respetaron las modalidades de aplicación de ese método de selección. No se menciona el arroz porque la selección recurrente se aplicó por primera vez a este cultivo hace apenas 10 años, cuando se estableció en Brasil un proyecto conjunto entre CIRAD y EMBRAPA-CNPAP. De las referencias sobre estos trabajos vale la pena mencionar a S. Veillet.³

El presente manual va dirigido a los equipos de investigadores que, para garantizar el desarrollo futuro del método de selección recurrente, deberán comprometerse en las siguientes actividades: establecimiento de programas de selección recurrente, perfeccionamiento de la metodología, obtención de variedades y publicación de informes científicos. Colegas mejoradores, muy estimados, integran hoy esos equipos, uno de los cuales es el proyecto colaborativo CIRAD/CIAT de selección recurrente. El intercambio de material vegetal y de información científica es una de sus actividades básicas. Otros equipos de investigadores los han precedido y otros nuevos continuarán su trabajo porque, al parecer, los grupos exitosos de mejoradores son también 'recurrentes'. A todos ellos deseo los mejores resultados en su carrera.

Michel Jacquot

Encargado de la Misión de Mejoramiento
de Especies Vegetales, CIRAD
(anteriormente, mejorador de arroz, CIRAD)

3. Veillet, S. 1993. Organisation of the genetic variability and recurrent selection in rice (*Oryza sativa* L.). Tesis. Institut National d'Agronomie-Paris, Grignon (INA-PG), Francia.

Acrónimos y Abreviaturas

CIRAD-CA	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement - Département des cultures annuelles, Francia
CNA	Abreviación de CNPAF (en nomenclatura del germoplasma)
CNPAF	Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, Brasil
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasil
FOFIFA	Centre national de la recherche appliquée au développement rural, Madagascar
IDESSA	Institut des savannes, Costa de Marfil
IDSA	Abreviación de IDESSA (en nomenclatura del germoplasma)
IER	Institut d'économie rurale, Mali
IRAT	Institut de recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières, Francia (incorporado al CIRAD-CA)
Ms, ms	codificación de genes para la androesterilidad
WARDA	West African Rice Development Association, Costa de Marfil

Capítulo 1

Manejo de la Selección Recurrente

Introducción

El mejoramiento de poblaciones está basado en la evaluación de los individuos de una población, en la selección de los mejores representantes de esa población y en la recombinación de éstos. La obtención y el manejo de poblaciones de arroz —en particular de las que segregan respecto a un gen recesivo causante de androesterilidad— necesitan una metodología propia, la cual se describe en este manual.

Los objetivos del mejoramiento de poblaciones son los siguientes: a) conformar un solo germoplasma con la variabilidad genética contenida en diversos individuos; b) incrementar progresivamente el valor genético de una o varias características agronómicas de determinado material; c) crear una base genética que permita la obtención de líneas fijas con alto nivel de expresión de la característica elegida —o de varias características, dado el caso; y d) crear un germoplasma que sea fuente de progenitores potenciales para los programas de mejoramiento.

Sarkarung (1991) describió una técnica simple para hacer cruzamientos manuales en arroz, la cual permite realizar un número mucho mayor de cruzamientos, en un tiempo dado, que los métodos tradicionales. Esta técnica se aplica actualmente en varias instituciones: en el CIAT para desarrollar poblaciones mejoradas mediante selección recurrente (Guimarães et al., s.f.), y en los programas de mejoramiento de algunos países latinoamericanos para incrementar el número de cruzamientos. Ahora bien, los mecanismos genéticos de androesterilidad del arroz, que son similares a los que se hallan en el sorgo y en la soya, facilitan aún más la práctica del mejoramiento de poblaciones.

Este manual es, por tanto, una guía para la formación, el mantenimiento, el mejoramiento y la selección de líneas, y para la introducción de variabilidad en las poblaciones de arroz que segregan respecto a un gen recesivo de androesterilidad.

Formación de la Semilla de Arroz

La estructura reproductiva del arroz —es decir, su flor— es la espiguilla. La parte masculina es el estambre, que está conformado por la antera y el filamento; la antera contiene los granos de polen. Cada espiguilla tiene seis estambres. El pistilo representa la parte femenina, que está compuesta por un ovario, dos estilos y dos estigmas plumosos (Figura 1).

La antesis es el proceso de apertura de la espiguilla y de preparación para la actividad reproductiva. En la etapa anterior a la antesis, el filamento crece en el interior de la espiguilla; cuando las anteras están a punto de tocar la parte superior de ésta y de iniciar la antesis, se abren y dejan caer el polen sobre los estigmas plumosos. Esta característica da por resultado la autopolinización del arroz; la tasa de alogamia (polinización cruzada) es menor que el 1% en condiciones climáticas normales.

El proceso de formación de la semilla se inicia con la polinización, es decir, con la caída de los granos de polen de las anteras sobre los estigmas. La etapa siguiente

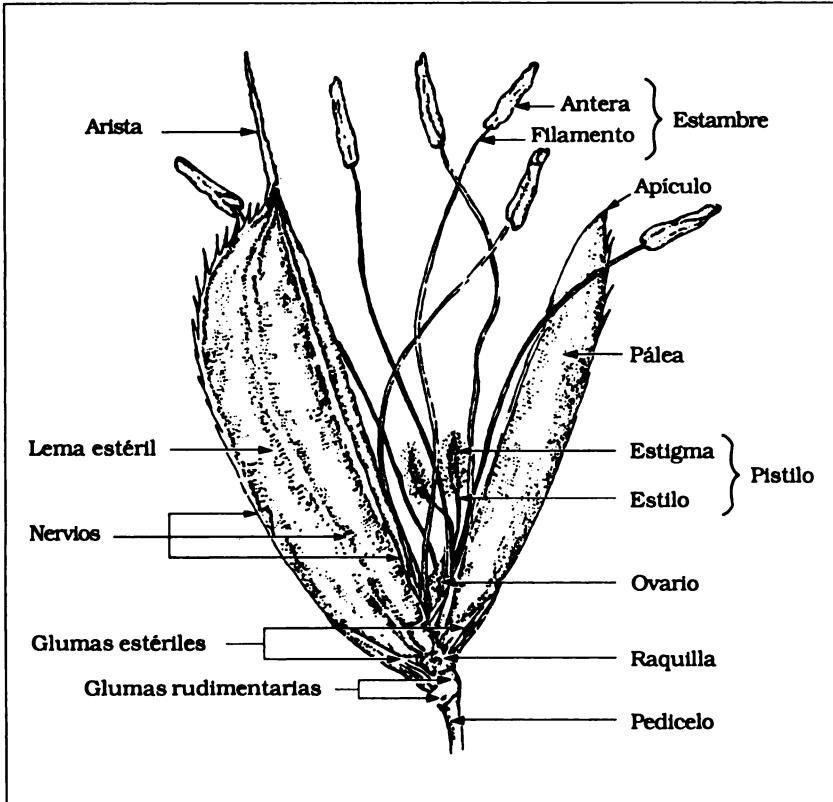


Figura 1. **Flor del arroz con sus órganos reproductivos masculinos y femeninos.**

es la fertilización, que comienza con la germinación del grano de polen; en éste se forma el tubo polínico por cuyo interior desciende el núcleo masculino hasta la parte interna del ovario, donde se fusiona con el núcleo femenino. Esta etapa dura de 18 a 24 horas, pero la formación completa del grano de arroz requiere de 25 a 30 días contando desde la fertilización.

La panícula contiene de 50 a 250 espiguillas. La floración empieza cuando la panícula emerge de su vaina; las primeras espiguillas que florecen son las de la parte superior de la panícula. Toda la panícula habrá florecido en un periodo de 5 a 7 días. Cada espiguilla permanece abierta durante 45 minutos, o un poco más, y sus estigmas son receptivos durante 4 ó 5 días; los granos de polen, en cambio, pueden vivir fuera de las anteras solamente unos pocos minutos.

El Gen de Androesterilidad

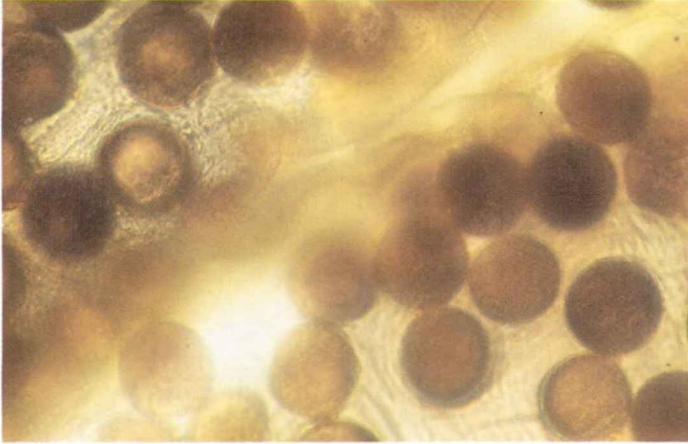
El arroz es una planta autógama y sus órganos reproductores femeninos y masculinos están en la misma flor. La fecundación cruzada (o alogamia) ocurre naturalmente en ciertos ambientes, pero nunca ha tenido importancia. Por consiguiente, si se desea obtener una población de arroz compuesta por individuos de diferente genotipo (o sea, recombinantes), sería necesario modificar la biología floral del arroz a fin de que permita la fecundación cruzada. Para lograrlo, y obtener los recombinantes, se procede de dos modos: uno, mediante cruzamientos manuales en que se eliminan los estambres (castración) de flores que, convertidas así en

'hembras', pueden fecundarse con polen de otras plantas; y otro, trabajando con genes recesivos de androesterilidad que, introducidos en las plantas de arroz, les permiten comportarse como si fueran alógamas.

El gen de androesterilidad del arroz más conocido fue descubierto por Singh e Ikehashi (1981) en un mutante de la variedad de riego IR36 o de otras poblaciones ya existentes. Ese mutante tiene un gen nuclear recesivo, denominado "*ms*", el cual causa, cuando está en homocigosis (*msms*), la esterilidad de los granos de polen. Las plantas androestériles presentan panículas normales, pero su polen es estéril. Los granos de polen se identifican en el laboratorio por su reacción al producto químico yoduro de potasio (*Iodine*): cuando son fértiles toman un color morado y cuando son estériles no se colorean (Lámina 1). En el campo, las plantas normales tienen anteras amarillas y llenas; las androestériles, en cambio, presentan anteras blanquecinas, arrugadas y de menor tamaño (Lámina 2).

Las plantas recesivas (*msms*) respecto al carácter descrito (polen estéril) producen semillas sólo cuando son fecundadas por polen —cuyas células haploides son *Ms* o *ms*— de plantas fértiles (*MsMs* o *Msms*); por consiguiente, la población constituida por esas plantas recesivas se comporta como si fuera alógama. Para conservar el gen de esterilidad masculina, se hacen cruzamientos entre el mutante androestéril (planta hembra, *msms*) y la variedad IR 36, que es androfértil (*MsMs*). La semilla híbrida es genéticamente heterocigótica (*Msms*), y producirá plantas fértiles (*Msms*). Estas plantas fértiles se autofecundan —tienen flores normales— y producen semillas tanto homocigóticas (*MsMs* y *msms*) como heterocigóticas (*Msms*). Si se siembran estas semillas, las de genotipos *MsMs* y *Msms* producirán plantas fértiles y las *msms* plantas androestériles.

Los fitomejoradores usan el gen causante de androesterilidad para facilitar el desarrollo de poblaciones por el método de selección recurrente.



Polen fértil



Polen androestéril

Lámina 1. **Granos de polen fértiles (color morado) y estériles (sin teñir) después del tratamiento con yoduro de potasio (lodine).**



Planta fértil

Espiguilla fértil

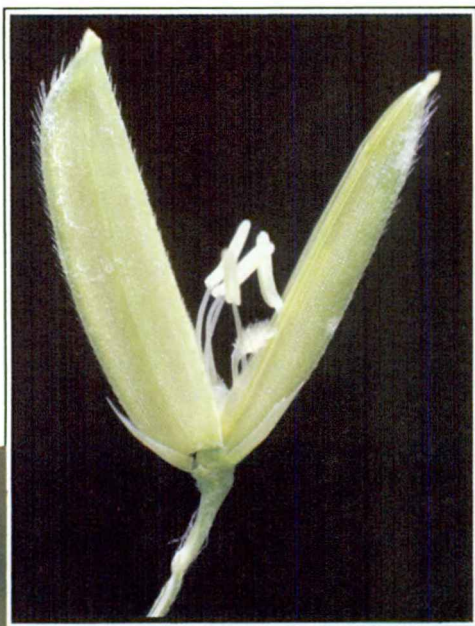


Antera fértil

Antera androestéril



Planta androestéril



Espiguilla androestéril



Lámina 2.

Planta fértil (arriba) y androestéril (abajo).

Población de Genotipos Recombinantes

Para obtener una población de recombinantes, deben considerarse algunos factores. Uno de ellos es el porcentaje de plantas con gen de androesterilidad (*ms*) que se espera mantener en la población; otro es el número de recombinaciones que conviene hacer antes de iniciar el proceso de selección.

A continuación se ofrecerán alternativas de desarrollo, mantenimiento y selección de una población. Para calcular la frecuencia del gen de androesterilidad (*ms*), se supone que la segregación ocurre de modo independiente (sin ligamientos) y que no hay sesgo en la segregación de los gametos, es decir, no hay segregación preferencial.

A. Población monocitoplasmática

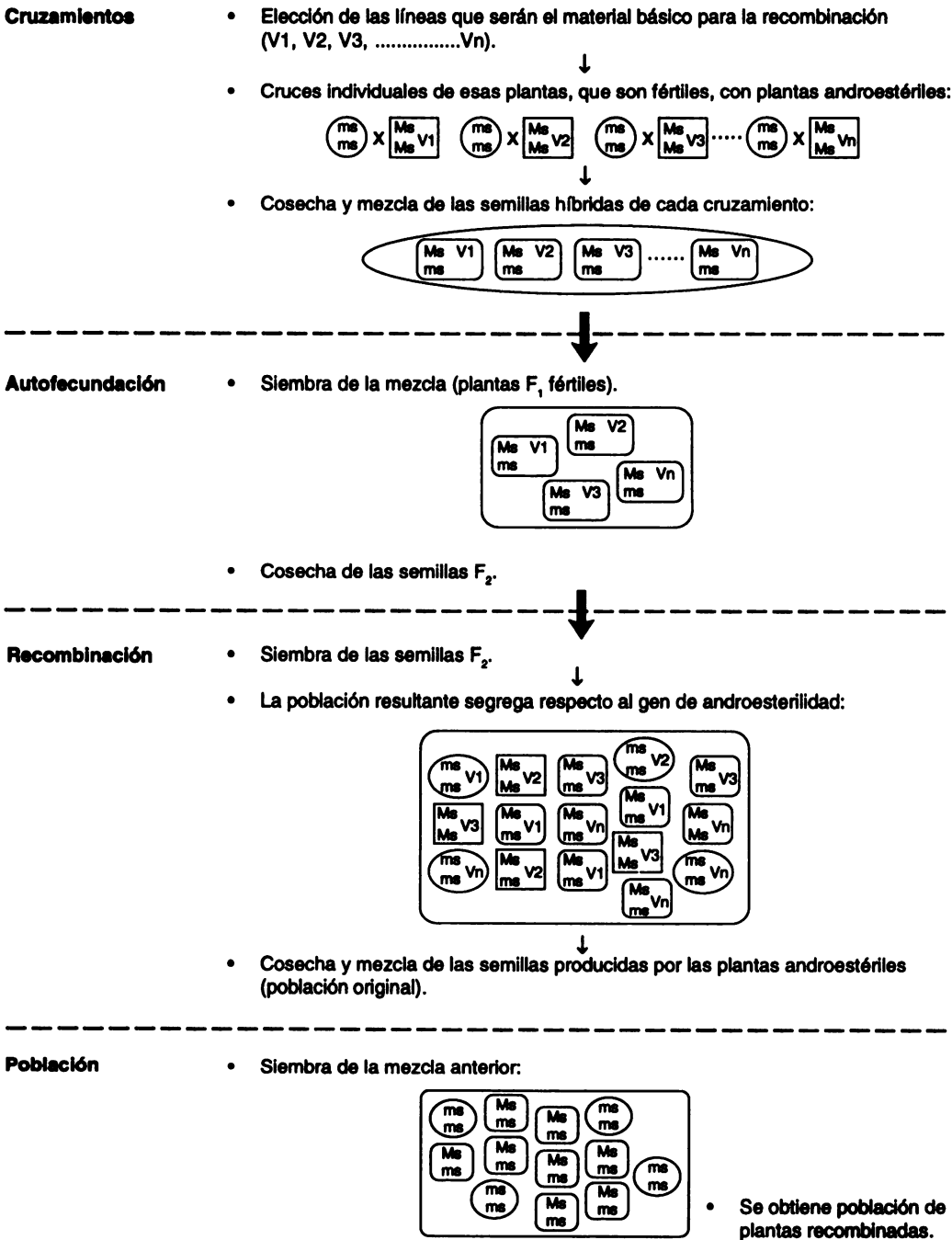
El primer paso es elegir las líneas y la constitución de la futura población (población original o básica). Para hacer esta elección se consultan los objetivos de cada programa de mejoramiento. En el siguiente esquema se describen las etapas que comprende la formación de esa población original. La Figura 2 ilustra el flujo de germoplasma durante esta operación.

Siembra	Metodología de campo
---------	----------------------

- | | |
|---|---|
| 1 | <p>Cruzamientos</p> <p>Escogidas las líneas que formarán la población, las plantas fértiles (<i>MsMs</i>) de aquéllas se cruzarán individualmente con plantas androestériles (<i>msms</i>) de la variedad IR 36 o de otras poblaciones ya existentes. El resultado de cada cruzamiento dará semillas híbridas heterocigóticas (<i>Msms</i>) que recibirán del progenitor androestéril 50% de sus genes y su citoplasma. Las semillas híbridas (<i>Msms</i>) de todos los cruces se mezclan luego en proporciones iguales o diferentes, según la contribución que se desee tener de cada progenitor masculino.</p> <p>En algunos casos, y a causa de la distancia genética que separa los progenitores (cruces indica/japonica, por ejemplo), la esterilidad obtenida en algunas plantas F_1 no refleja la acción del gen de androesterilidad sino la incompatibilidad entre los genotipos de estas plantas. Se recomienda entonces observar las plantas F_1, cosechar individualmente las F_2 y mezclarlas según la proporción que interese al mejorador.</p> |
| 2 | <p>Autofecundación</p> <p>Se siembra la mezcla de las semillas F_1 en un sitio aislado y se obtienen de ellas solamente plantas fértiles (<i>Msms</i>). Estas se autofecundarán, y su semilla, que es F_2, tendrá la constitución genética <i>MsMs</i>, <i>Msms</i> y <i>msms</i> en la proporción de 1:2:1.</p> |
| 3 | <p>Recombinación</p> <p>La recombinación de las líneas originales —o sea, las que formarán la población— se obtiene cuando se siembra la mezcla de las semillas F_2. Las plantas segregarán respecto a los tres genotipos mencionados. En esta etapa, las plantas androestériles (<i>msms</i>) serán fecundadas al azar por polen de tipo <i>Ms</i> (75%) y de tipo <i>ms</i> (25%); las semillas obtenidas tendrán genotipos <i>Msms</i> (75%) y <i>msms</i> (25%). En estas semillas hay recombinantes de los progenitores originales; el citoplasma de todas ellas, en cambio, deriva de la fuente de androesterilidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Esta tercera etapa se puede repetir varias veces, hasta que el fitomejorador considere que la población está lista para empezar el proceso de selección, es decir, cuando las oportunidades de recombinación entre los genes de los progenitores originales hayan sido suficientes. La mezcla de estas semillas es la población original. |

- Ventaja:** - Obtención rápida y simple de una población.
- Desventajas:** - El citoplasma de la población proviene únicamente de la variedad androestéril.
- El 50% de la variabilidad genética de la población viene de la variedad androestéril.

Figura 2. Formación de una población monocytoplásmica.



B. Población policitoplasmática

A diferencia de la alternativa anterior, el objetivo de ésta es presentar una técnica para desarrollar poblaciones cuyos individuos posean citoplasma de diverso origen, es decir, poblaciones policitoplasmáticas. El siguiente esquema describe las etapas que deben cumplirse para desarrollar tales poblaciones. La Figura 3 complementa esta información.

Siembra	Metodología de campo
---------	----------------------

- | | |
|---|--|
| 1 | <p>Cruzamientos</p> <p>Una vez seleccionadas las líneas con que se formará la población, se harán cruzamientos individuales de plantas fértiles (<i>MsMs</i>) de esas líneas con plantas androestériles (<i>msms</i>) de la variedad IR 36 o de otras poblaciones ya existentes. Cada cruzamiento producirá semillas híbridas heterocigóticas (<i>Msms</i>), cuyas células tendrán genes del progenitor androestéril (50%) y citoplasma de la variedad que es fuente de la androesterilidad. La diferencia entre este caso y el anterior es la siguiente: sembradas las semillas híbridas y obtenidas las plantas fértiles (<i>Msms</i>) de cada cruce, éstas se retrocruzan con el padre masculino; esta operación permite la diversificación del citoplasma.</p> |
| 2 | <p>Retrocruzamientos</p> <p>Se siembran semillas de la generación F_1 (<i>Msms</i>) y de los progenitores recurrentes (<i>MsMs</i>); éstos se emplearán como madre en cada retrocruce. Concluida esta ronda de cruzamientos, el aporte genético de la fuente de androesterilidad a la variabilidad de la población se reduce a un 25%. El resultado de esta etapa es la producción de semillas de genotipos <i>MsMs</i> y <i>Msms</i>, en la proporción 1:1, en cada retrocruce (F_1RC).</p> |
| 3 | <p>Autofecundación</p> <p>En esta tercera etapa, se siembran las semillas F_1RC de cada cruce y se obtienen de ellas plantas fértiles (<i>MsMs</i> y <i>Msms</i>) que se dejan autofecundar. Esta autofecundación produce semillas F_2RC, cuyos genotipos (ver Apéndice A) son <i>MsMs</i> (62.5%), <i>Msms</i> (25%) y <i>msms</i> (12.5%).</p> |
| 4 | <p>Recombinación</p> <p>Sembradas las semillas F_2RC de cada cruce, se obtiene una población que contiene plantas androestériles (<i>msms</i>); éstas, polinizadas al azar, producen semillas que representan la primera oportunidad de recombinación entre los progenitores originales.</p> <ul style="list-style-type: none"> El fitomejorador puede repetir esta etapa varias veces —dando así suficientes oportunidades para la recombinación de los genes de los progenitores dichos— hasta que la población esté lista, a su juicio, para iniciar el proceso de selección. Fujimaki (1978) recomienda hacer, por lo menos, tres recombinaciones. La mezcla de las semillas producidas en esta etapa constituye la población básica. |

Ventajas:

- Los retrocruzamientos permiten la mezcla de los citoplasmas de los progenitores originales.
- La variedad androestéril contribuye normalmente con el 25% de la variabilidad genética de la población.
- Al aumentar el número de retrocruces, disminuye a menos del 25% el aporte génico de la variedad androestéril a la población base.

Desventajas:

- Se necesitan cuatro siembras para obtener la población base.
- Esa población tendrá solamente 14.3% de plantas androestériles (ver Apéndice A); se necesitará, por tanto, una población más grande para disponer de un porcentaje mayor de plantas androestériles.

Figura 3. Formación de una población policitoplasmática.

**Cruzamientos/
Retrocruzamientos**

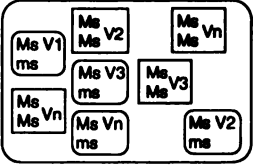
- Elección de las líneas que serán el material de base para la recombinación (V1, V2, V3,Vn).
- ↓
- Cruces individuales de esas plantas, que son fértiles, con plantas androestériles:

- ↓
- Cosecha de las semillas híbridas de cada cruce por separado:

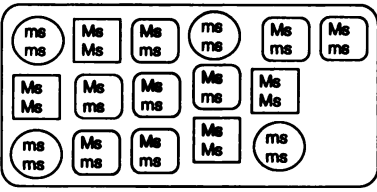
- ↓
- Retrocruzamientos:

- ↓
- Cosecha y mezcla de las semillas de los retrocruzamientos.

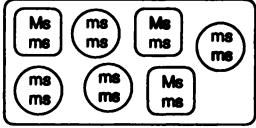
Autofecundación

- Siembra de la mezcla de semilla:

- ↓
- Se obtiene población de plantas fértiles homocigóticas y heterocigóticas.
- ↓
- Cosecha y mezcla de las semillas de esa población.

Recombinación

- Siembra de la mezcla de semilla:

- ↓
- Se obtiene población de plantas que segregan respecto al gen de androesterilidad.
- ↓
- Cosecha y mezcla de las semillas producidas por las plantas androestériles (población original).

Población

- Siembra de la mezcla anterior:

- ↓
- Se obtiene población de plantas recombinadas.

Mantenimiento Activo de Poblaciones

Las poblaciones ya desarrolladas se almacenan en un banco de germoplasma hasta que se inicien con ellas las actividades de mejoramiento. Ahora bien, si decreciera la cantidad de semilla original almacenada, sería necesario multiplicar esta semilla teniendo cuidado de que la multiplicación no altere la constitución genética de la población original.

En este manual, la multiplicación de semillas de las poblaciones se denominará *mantenimiento activo*. Este proceso puede partir de las plantas androestériles o de las fértiles presentes en esas poblaciones. Es muy recomendable conservar muestras de las semillas producidas en cada generación de multiplicación que se obtenga durante el trabajo de mantenimiento de la población. Después de algunos años será necesario analizar la variabilidad genética contenida en los diferentes lotes de semilla.

El mantenimiento activo no debería hacerse únicamente a partir de plantas fértiles, ya que por esta vía disminuye rápidamente la frecuencia del gen *ms*. Lo conveniente sería alternar ambos métodos.

A. A partir de plantas androestériles

El mantenimiento activo de una población empleando plantas androestériles es un ciclo adicional de recombinación. Las plantas androestériles (*msms*) son polinizadas por las fértiles (*Msms*) para que reconstituyan la población.

Es preciso evitar la deriva genética, es decir, la pérdida de genes causada por la metodología empleada en la multiplicación de las semillas. Una causa común de este problema es la diferencia en floración de las plantas de una población. Por esta diferencia, solamente las plantas de un mismo ciclo pueden cruzarse, y cuando haya algún ligamiento entre esa característica y otros genes, la recombinación estará limitada. Para aminorar ese riesgo, la siembra de una parcela se hace en dos o tres fechas distintas separadas entre sí unos 10 días; todas las plantas tendrán así igual posibilidad de ser fecundadas por los demás componentes de la población. Por ejemplo, si se planeó una población de 3000 plantas, en la misma área física se sembrarán 1000 semillas en la primera fecha, 1000 más en la segunda y las 1000 restantes en la tercera.

La cosecha de las plantas androestériles ya fecundadas debe hacerse con igual cuidado. Se cosechan todas las plantas que hayan producido semillas; éstas se reúnen de manera que la mezcla tenga igual cantidad de semilla de cada planta. Esta condición suele limitar el total de semillas que se obtendrían en una multiplicación.

Siembra	Metodología de campo
---------	----------------------

- | | |
|---|--|
| 1 | <p>Multiplicación con recombinación</p> <p>Sembrar una muestra de las semillas almacenadas. En el campo, las plantas serán de dos tipos: androestériles (<i>msms</i>) y fértiles (<i>Msms</i>). Las fértiles polinizarán las androestériles. Las semillas de esas plantas (<i>Msms</i> y <i>msms</i>) se mezclan, y esta mezcla es la población original multiplicada (Figura 4).</p> |
|---|--|

Ventajas:

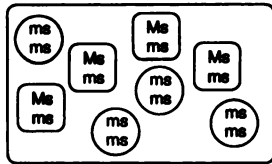
- La frecuencia del gen de androesterilidad (50%) se mantiene.
- El mantenimiento y la recombinación de una población se convierten en una sola operación.

Desventaja:

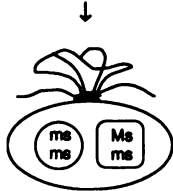
- Se produce una cantidad de semilla relativamente baja.

Figura 4. Mantenimiento activo (multiplicación) de una población empleando plantas androestériles.

- Población original:



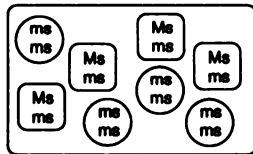
- Cosecha y mezcla de las semillas de todas las plantas androestériles.



- Conserva esta mezcla.



- Siembra parte de las semillas guardadas (conserva parte para otra siembra):



- Obtiene plantas fértiles y plantas androestériles.

B. A partir de plantas fértiles

Como en el caso anterior, y para evitar la deriva genética, se cosechan todas las plantas fértiles de la población y sus semillas se mezclan (igual cantidad por planta). No hay necesidad de sembrar en diferentes fechas porque las plantas serán autofecundadas. La producción de semilla de esas plantas es elevada y, por consiguiente, la semilla de la población será abundante. No obstante, la semilla que se recolecte en las plantas fértiles disminuirá la frecuencia del gen *ms* en la población: solamente 25% de las plantas de la población serán androestériles. Si se repite este proceso, la frecuencia de los genotipos *msms* disminuirá aún más porque no se podrá distinguir fenotípicamente —ni durante el crecimiento de las plantas ni al momento de la cosecha— una planta fértil *MsMs* de otra *Msms*.

Siembra	Metodología de campo
---------	----------------------

1	<i>Multiplicación</i>
---	------------------------------

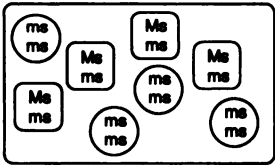
Se siembran las semillas de la población original. Las plantas provenientes de esa muestra segregan como heterocigotas fértiles (<i>Msms</i>) y estériles (<i>msms</i>). El polen (<i>Ms</i> y <i>ms</i>) que produzcan las plantas fértiles sirve para fecundar las androestériles y para la autofecundación de las mismas fértiles. Las semillas cosechadas en las plantas autofecundadas son tanto fértiles (<i>MsMs</i> y <i>Msms</i>) como androestériles (<i>msms</i>) y representan la población original multiplicada (Figura 5).
--

Ventaja: - Se obtiene gran cantidad de semilla de la población.

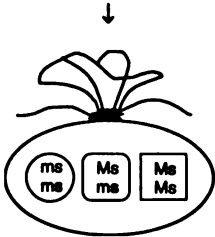
Desventaja: - Disminuye la frecuencia del gen *ms* en la población.

Figura 5. Mantenimiento activo (multiplicación) de una población empleando plantas fértiles.

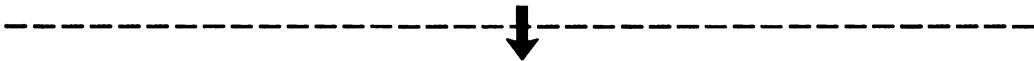
- Población original:



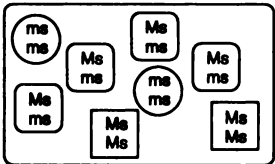
- Cosecha y mezcla de las semillas de las plantas fértiles.



- Conserva esta mezcla.



- Siembra parte de las semillas guardadas
(conserva parte para otra siembra):



- Obtiene plantas fértiles (homocigóticas y heterocigóticas)
y plantas androestériles.

Mejoramiento de Poblaciones

El mejoramiento de poblaciones es un proceso que se extiende del mediano plazo al largo plazo; en cada uno de sus ciclos se evalúa la población, se seleccionan individuos (unidades de selección) y se recombinan los mejores (unidades de recombinación). Este método de selección se ha llamado *selección recurrente*.

El objetivo principal del método es aumentar en esa población, de manera gradual y continua, la frecuencia de los genes que interesan al investigador según los objetivos del programa de mejoramiento. Diferentes estrategias de selección pueden adoptarse según la heredabilidad de los caracteres de interés y la disponibilidad de tiempo y de recursos.

La eficiencia de este método —medida, por ejemplo, como ganancia por unidad de tiempo o por ciclo de selección— dependerá de la estrategia empleada. En algunas regiones de América Latina y el Caribe se puede cultivar arroz dos veces al año; en ellas, la época principal de cultivo se debe dedicar a la etapa de selección y la menos favorable a la de recombinación.

A. Selección recurrente basada en plantas androestériles

Las plantas androestériles, escogidas según los objetivos del programa, constituyen las unidades de selección; de éstas, las mejores se tomarán más tarde como unidades de recombinación.

Se describirán en seguida algunas técnicas para seleccionar y recombinar materiales a partir de plantas androestériles (*msms*).

1. Selección masal

La técnica de la selección masal se basa en la observación del fenotipo de las plantas. Por consiguiente, todas las plantas androestériles de una población que expresen la(s) característica(s) deseada(s) serán seleccionadas, y se cosechará su semilla individualmente. Estas semillas (*Msms* y *msms*) se mezclan más tarde, de manera que los individuos escogidos se hallen en igual proporción.

Siembra	Metodología de campo
---------	----------------------

- | | |
|---|--|
| 1 | <p>Selección</p> <p>Se siembra una población que dará plantas androestériles (<i>msms</i>) y fértiles (<i>Msms</i>). De ellas se seleccionan las mejores plantas androestériles (<i>msms</i>), que serán fecundadas por las fértiles. De aquí resultan semillas <i>Msms</i> y <i>msms</i>, que son la base de la etapa de recombinación.</p> |
| 2 | <p>Recombinación</p> <p>Se siembran ahora las semillas <i>Msms</i> y <i>msms</i> cosechadas en la generación anterior. Las plantas androestériles (<i>msms</i>) obtenidas serán fecundadas por las fértiles (<i>Msms</i>) y producirán semillas de genotipos <i>Msms</i> (50%) y <i>msms</i> (50%); estas semillas son la base de la población mejorada. Se cumple así un ciclo de selección.</p> |

- Ventajas:**
- Es una estrategia de selección simple y rápida.
 - Es eficiente respecto a características de alta heredabilidad.
 - La población mejorada tendrá 50% de plantas androestériles y 50% de plantas fértiles.

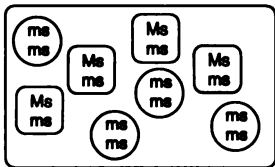
Desventaja: - La estrategia es poco eficaz para características de baja heredabilidad.

En este proceso de selección masal, todas las unidades de selección son las unidades de recombinación, y el ciclo de mejoramiento se completa en dos periodos de cultivo (Figura 6).

Figura 6. Selección masal de plantas androestériles.

Selección

- Población original:



- Se seleccionan las plantas androestériles de interés.

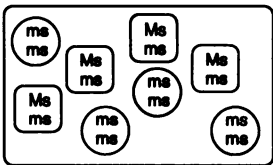


- Cosecha y mezcla de las semillas de las plantas androestériles elegidas.



Recombinación

- Siembra de la mezcla:



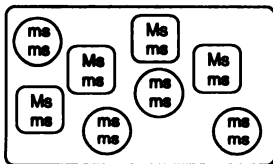
- Población mejorada.



- Cosecha de las semillas de las plantas androestériles.



- Siembra de la mezcla:



- Se obtiene población mejorada recombinada.

2. Selección de plantas con evaluación de progenies

Esta y otras técnicas en que se evalúan las progenies de las plantas androestériles presentan algunas variantes en la metodología. En este manual se mencionarán las siguientes: con aislamiento de la descendencia y sin él, y ésta última con almacenamiento de las semillas remanentes y sin él.

SIN AISLAMIENTO DE LA PROGENIE

a. Almacenando las semillas

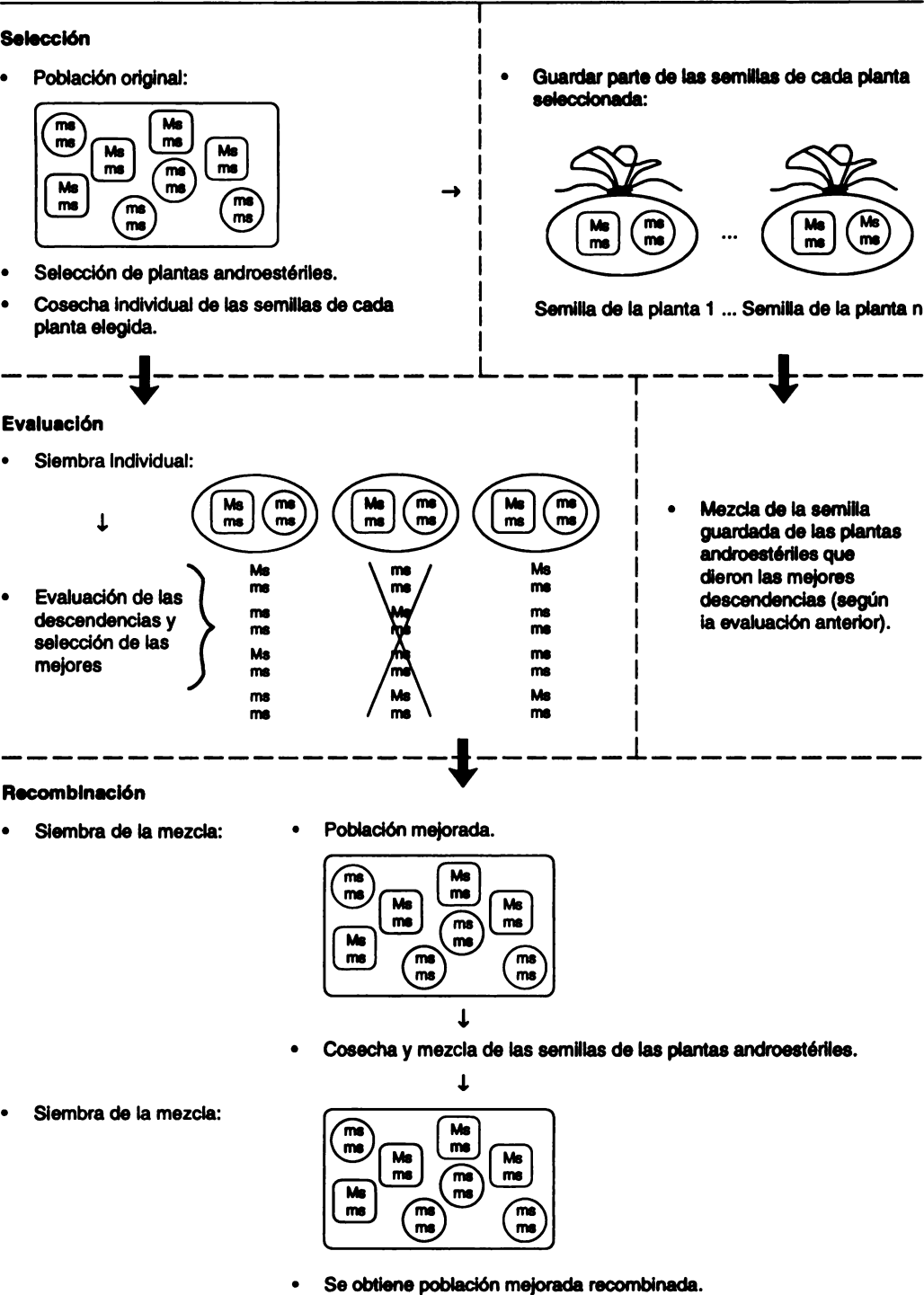
Siembra	Metodología de campo
----------------	-----------------------------

- | | |
|---|---|
| 1 | <p>Selección con recombinación al azar</p> <p>Se siembra la población base. Se seleccionan en ella todas las plantas androestériles (<i>msms</i>) fecundadas que expresen la(s) característica(s) deseada(s) y se cosecha cada planta por separado. De esas semillas, una parte se almacena en el banco de germoplasma y otra parte se usa para evaluar el comportamiento de las progenies. Estas semillas darán plantas fértiles (<i>Msms</i>) y plantas androestériles (<i>msms</i>).</p> |
| 2 | <p>Evaluación</p> <p>Cada planta de la generación anterior será sembrada como una línea; estas líneas "informarán" sobre el potencial de las plantas madre. Se seleccionan entonces las progenies de mejor comportamiento y se recombinan. Para esta recombinación se emplean las semillas almacenadas; no se deben usar las semillas de las plantas androestériles presentes en las progenies elegidas (las que fueron evaluadas), pues estas plantas han podido ser fecundadas por polen procedente de plantas fértiles de progenies vecinas descartadas por el evaluador.</p> |
| 3 | <p>Recombinación de plantas seleccionadas</p> <p>Con las semillas almacenadas se hace el ciclo de recombinación. En él, las plantas androestériles —procedentes de las semillas <i>msms</i>— serán fecundadas por el polen <i>Ms</i> y <i>ms</i> de las plantas fértiles. Se cosechan aquí semillas recombinadas que serán la base de la población mejorada. Se cumple así un ciclo de selección.</p> |

- Ventajas:**
- La técnica es eficiente para características de baja heredabilidad.
 - No se necesita aislar las descendencias.
 - La población de plantas recombinadas tendrá 50% de plantas androestériles y 50% de plantas fértiles.
- Desventajas:**
- La evaluación de cada descendencia es un proceso costoso.
 - Necesita instalaciones para almacenar semillas.
 - Requiere un buen control de la relación que existe entre la planta madre y la descendencia.
 - La cantidad de semillas producidas por las plantas androestériles puede limitar el tipo de prueba que se hace a las progenies.

En esta técnica, las unidades de recombinación son solamente las unidades de selección que fueron elegidas en vista del comportamiento de su descendencia. Un ciclo de selección consta de tres épocas de cultivo (Figura 7).

Figura 7. Selección de plantas androestériles, evaluación da su descendencia sin alelamiento, y recombinación a partir de las semillas guardadas.



b. Sin almacenar la semilla

Siembra Metodología de campo

-
- | | |
|---|--|
| 1 | <p><i>Selección con recombinación al azar</i></p> <p>Se siembra la población base. Se seleccionan en ella todas las plantas androestériles (<i>msms</i>) fecundadas que expresen la(s) característica(s) deseada(s) y se cosecha cada planta por separado. La descendencia de estas plantas se usará para evaluar el potencial de las progenies; esas semillas producirán 50% de plantas fértiles (<i>Msms</i>) y 50% de plantas androestériles (<i>msms</i>).</p> |
| 2 | <p><i>Evaluación</i></p> <p>Se seleccionan las líneas que mejor se ajusten a los objetivos del programa y, dentro de ellas, las plantas fértiles (<i>Msms</i>) de mejores características. La autofecundación de estas plantas produce semillas cuyos genotipos son <i>MsMs</i>, <i>Msms</i> y <i>msms</i>. Estas semillas, mezcladas en proporciones iguales, son el punto de partida del ciclo de recombinación.</p> |
| 3 | <p><i>Recombinación de plantas seleccionadas</i></p> <p>Se siembran las unidades de recombinación. Las plantas que nacen de ellas tendrán los genotipos <i>MsMs</i> (25%) y <i>Msms</i> (50%), que son fértiles, y <i>msms</i> (25%), que son androestériles. Las semillas que se cosechen en las plantas androestériles son la base de la población mejorada; se cumple así un ciclo de selección.</p> |
-

Ventajas:

- Es eficiente para características de baja heredabilidad.
- Combina dos tipos de selección: una entre progenies y otra dentro de ellas.
- No se necesita aislar la descendencia.

Desventaja:

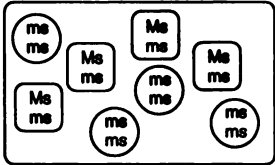
- La frecuencia de las plantas androestériles en la población mejorada es de 33% (ver Apéndice B).

En esta técnica, las unidades de recombinación son las plantas fértiles seleccionadas en las progenies elegidas que provienen de las unidades de selección. Un ciclo de selección consta de tres épocas de cultivo (Figura 8).

Figura 8. Selección de plantas androestériles, evaluación de su descendencia sin aislamiento, y recombinación a partir de las plantas fértiles.

Selección

- Población original:



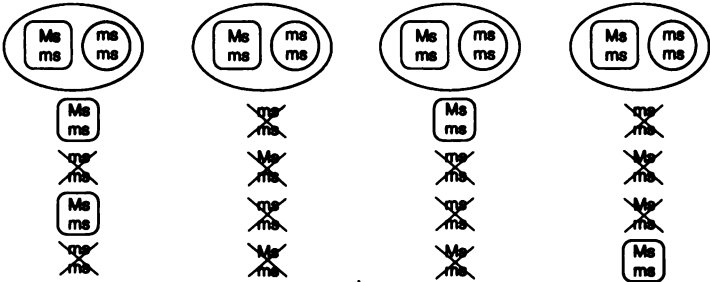
- Selección de plantas androestériles.



- Cosecha individual de la semilla de cada planta elegida.

Evaluación

- Siembra individual:



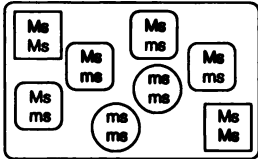
- Evaluación de las descendencias, elección de las mejores y selección de plantas fértiles

- Cosecha y mezcla de las semillas de las plantas fértiles seleccionadas.

Recombinación

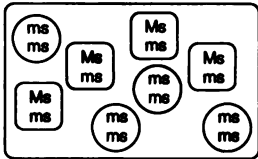
- Siembra de la mezcla:

- Población mejorada.



- Cosecha y mezcla de las semillas de las plantas androestériles.

- Siembra de la mezcla:



- Población mejorada recombinada.

CON AISLAMIENTO DE LA PROGENIE**Siembra Metodología de campo**

-
- 1 **Selección y recombinación al azar**
Se siembra la población base. Se seleccionan en ella todas las plantas androestériles (*msms*) fecundadas que expresen la(s) característica(s) deseada(s), y estas plantas se cosechan individualmente. Los genotipos de la descendencia de estas plantas serán *Msms* y *msms*.
 - 2 **Evaluación**
Se siembran (en hileras separadas) las semillas cosechadas en cada planta de la etapa anterior, de manera que los individuos de cada hilera representen a su planta madre. En la siembra, cada progenie quedará aislada de su vecina por hileras de maíz o de variedades de arroz de ciclo largo y planta alta. Escogidas las progenies en la evaluación, se seleccionarán en ellas las plantas androestériles (*msms*) de mejores características agronómicas (selección entre progenies y dentro de ellas). Estas plantas androestériles serán fecundadas únicamente por polen de plantas fértiles (*Ms* y *ms*) de la misma descendencia. Las semillas obtenidas en esta operación (*Msms* y *msms*) se mezclan en igual proporción para iniciar el ciclo de recombinación (ver Apéndice C).
 - 3 **Recombinación**
Se siembran las semillas cosechadas de las plantas androestériles (*Msms* y *msms*). En esa población habrá 50% de plantas fértiles (*Msms*) y 50% de plantas androestériles (*msms*). Se cosecha semilla solamente en las plantas *msms*, para permitir la recombinación de los genotipos seleccionados en la primera siembra. La población mejorada queda constituida por la mezcla de cantidades iguales de esas semillas (mezcla proporcional). Se cumple así un ciclo de selección.
-

Ventajas:

- Hay una recombinación en cada época de cultivo.
- La técnica es eficiente para características de baja heredabilidad.
- Combina dos tipos de selección: uno entre progenies y otro dentro de ellas.
- La frecuencia de las plantas androestériles en la población mejorada será de 50%.

Desventajas:

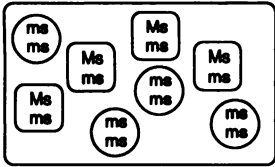
- Es necesario aislar cada descendencia.
- La cantidad de semilla producida por la planta androestéril no siempre es suficiente para que haya en la progenie varias plantas *msms* para la recombinación.
- Durante la floración, es necesario identificar en los descendientes las plantas androestériles; este trabajo puede ser muy dispendioso cuando son muy numerosos los descendientes.

En esta técnica, las unidades de recombinación son las plantas androestériles seleccionadas entre los descendientes de las unidades de selección. Un ciclo de selección comprende tres épocas de cultivo (Figura 9).

Figura 9. Selección de plantas androestériles, evaluación de su descendencia con aislamiento, y recombinación a partir de las plantas androestériles.

Selección

- Población original:

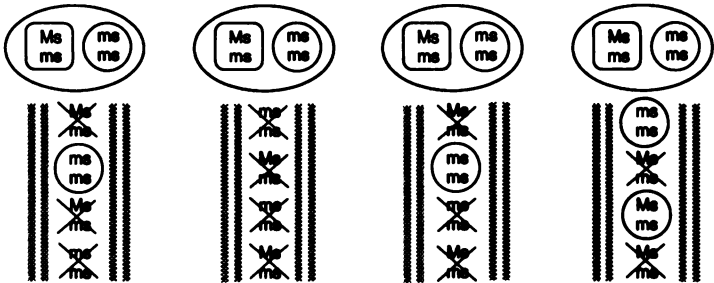


- Selección de plantas androestériles.
- ↓
- Cosecha individual de las semillas de cada planta elegida.

Evaluación

- Siembra Individual (con maíz o arroz como aislamiento):

- Evaluación de las descendencias, elección de las mejores y selección de plantas androestériles

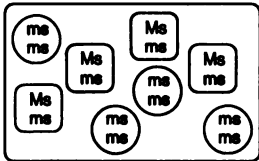


- Cosecha y mezcla de las semillas de las plantas androestériles.

Recombinación

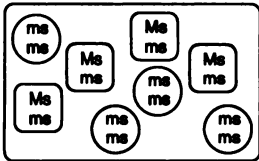
- Siembra de la mezcla:

- Población mejorada.



- Cosecha y mezcla de las semillas de las plantas androestériles.

- Siembra de la mezcla:



- Población mejorada recombinada.

B. Selección recurrente basada en plantas fértiles

Se escogen plantas fértiles según los objetivos del programa de mejoramiento. Estas plantas son las unidades de selección que serán recombinadas más adelante.

1. Selección masal

La selección masal se basa en la observación del fenotipo de las plantas.

Siembra	Metodología de campo
1	<i>Selección</i> Se seleccionan, en este caso, todas las plantas fértiles (<i>Msms</i>) de la población que expresen la(s) característica(s) deseada(s) y se cosechan individualmente. Se toman luego cantidades iguales de semillas de cada planta y se mezclan (mezcla proporcional).
2	<i>Recombinación</i> Los genotipos de las semillas de la mezcla son <i>MsMs</i>, <i>Msms</i> y <i>msms</i>. Con ellos se constituye el ciclo de recombinación en el cual las plantas androestériles serán fecundadas por el polen <i>Ms</i> o <i>ms</i>. Se mezclan luego cantidades iguales de las semillas cosechadas en las plantas androestériles (mezcla proporcional); esta mezcla será la base de la población mejorada.

Ventajas:

- Es una estrategia de selección simple y rápida.
- Es eficiente para características de alta heredabilidad.

Desventaja:

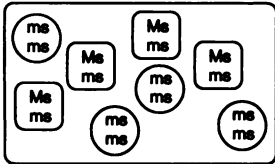
- La frecuencia de las plantas androestériles en la población mejorada es de 33%.

Las unidades de recombinación son las unidades de selección. Un ciclo de selección abarca dos épocas de cultivo (Figura 10).

Figura 10. Selección masal de plantas fértiles.

Selección

- Población original:



- Selección de plantas fértiles.

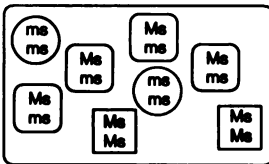


- Cosecha y mezcla de las semillas de las plantas fértiles seleccionadas.



Recombinación

- Siembra de la mezcla:



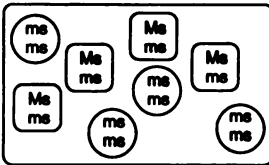
- Población mejorada.



- Cosecha y mezcla de las semillas de las plantas androestériles.



- Siembra de la mezcla:



- Población mejorada recombinada.

2. Selección de plantas con evaluación de progenies

La etapa de selección es común a las tres estrategias que se describirán a continuación:

ALMACENANDO LAS SEMILLAS

Siembra	Metodología de campo
---------	----------------------

1	<i>Selección</i> Se siembra la semilla de la población base. Se seleccionan todas las plantas fértiles (<i>Msms</i>) que expresen la(s) característica(s) deseada(s) y se cosecha la semilla de cada una por separado. La descendencia de esas semillas se usará para evaluar el potencial de sus progenitores (la planta de origen). A las mejores unidades de selección se aplicarán diversos métodos de evaluación y recombinación.
---	--

2	<i>Evaluación</i> Se siembra la descendencia de las plantas seleccionadas en la población base (genotipos <i>MsMs</i> y <i>Msms</i>). Evaluadas las progenies, se seleccionan las de mayor potencial agronómico; se toman entonces cantidades iguales de las semillas de la madre de cada una de esas progenies —semillas previamente almacenadas— y se prepara con ellas una mezcla proporcional.
---	--

3	<i>Recombinación</i> La siembra de esa mezcla establece el ciclo de recombinación. La cosecha de las semillas de las plantas androestériles (<i>msms</i>) de la mezcla es la base de la población mejorada.
---	---

Ventajas:

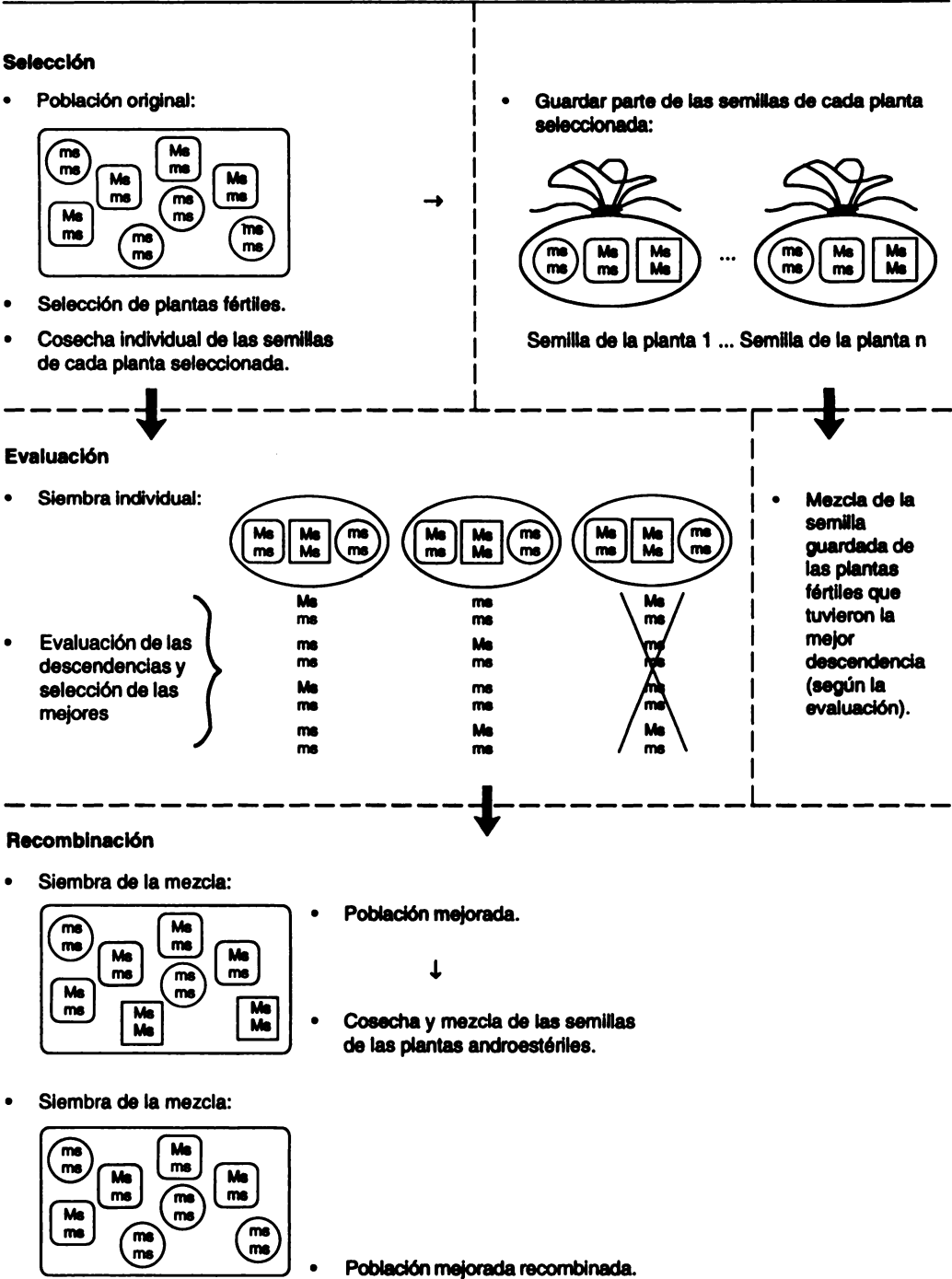
- Es una estrategia simple de selección.
- Es eficiente para características de baja heredabilidad.

Desventajas:

- La frecuencia de las plantas androestériles en la población mejorada es de 33%.
- Se necesitan instalaciones para almacenar semillas.
- Se requiere un buen control de la relación que existe entre una planta madre y su descendencia.

Las unidades de recombinación corresponden a las unidades de selección escogidas según el comportamiento de la descendencia de éstas. Un ciclo de selección comprende tres épocas de cultivo (Figura 11).

Figura 11. Selección de plantas fértiles, evaluación de su descendencia sin aislamiento, y recombinación a partir de la semilla guardada.



SIN ALMACENAR LAS SEMILLAS**a. Recombinación a partir de plantas fértiles**

Siembra	Metodología de campo
1	Selección (ver pág. 24).
2	Evaluación Se siembra la descendencia de las plantas fértiles (<i>Msms</i>) seleccionadas en la población base. Se seleccionan las progenies de mayor potencial agronómico. Se cosechan luego las semillas de cada una de las plantas fértiles, y con una cantidad igual de cada una se hace una mezcla proporcional.
3	Recombinación Esta mezcla de semillas constituye el ciclo de recombinación. Se cosechan aquí las plantas androestériles (<i>msms</i>) que producirán semillas <i>Msms</i> y <i>msms</i> , y con cantidades iguales de semillas por planta se hace una mezcla. Esta nueva mezcla es la base de la población mejorada.

Ventajas:

- Es eficiente para características de baja heredabilidad.
- Combina dos tipos de selección: entre las progenies y dentro de ellas.
- No requiere el aislamiento de las progenies.

Desventaja:

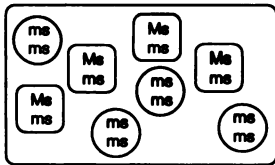
- La frecuencia de las plantas androestériles en la población mejorada es de 33%.

Las unidades de recombinación son las mejores plantas fértiles seleccionadas entre los descendientes escogidos de las unidades de selección. Un ciclo de selección comprende tres épocas de cultivo (Figura 12).

Figura 12. Selección de plantas fértiles, evaluación de su descendencia sin aislamiento, y recombinación a partir de plantas fértiles.

Selección

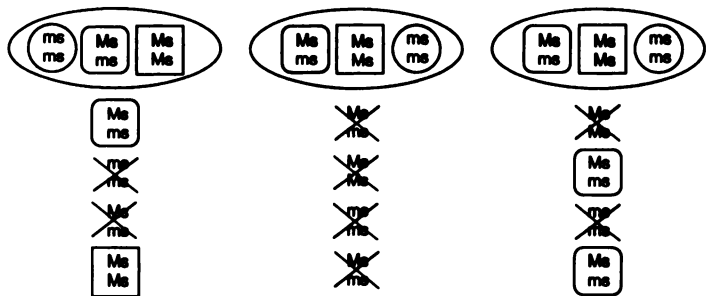
- Población original:



- Selección de plantas fértiles.
- Cosecha individual de las semillas de cada planta seleccionada.

Evaluación

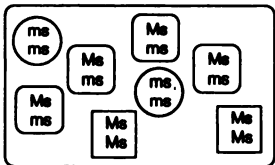
- Siembra individual:



- Mezcla de las semillas de las plantas fértiles seleccionadas.

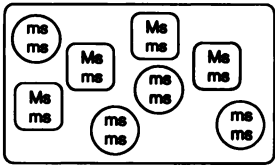
Recombinación

- Siembra de la mezcla



- Población mejorada.
- ↓
- Cosecha y mezcla de las semillas de las plantas androestériles.

- Siembra de la mezcla:



- Población mejorada recombinada.

b. *Recombinación a partir de plantas androestériles*

Es necesario aislar cada descendencia para evitar que las plantas androestériles de una descendencia sean polinizadas por el polen de otra.

Siembra	Metodología de campo
---------	----------------------

1	<i>Selección</i> (ver pág. 24)
---	--------------------------------

2	<i>Evaluación</i>
---	-------------------

	Se siembra la descendencia (semilla) de las plantas fértiles (<i>Msms</i>) seleccionadas en la población base. En esta siembra cada progenie debe aislarse de la progenie vecina con hileras de maíz o con variedades de arroz que tengan ciclo largo y plantas altas. Se seleccionan luego las progenies de mayor potencial agronómico, y se cosechan las semillas producidas por las plantas androestériles (<i>Msms</i> y <i>msms</i>). Se toman luego cantidades iguales de esta semilla por planta y se mezclan (mezcla proporcional).
--	---

3	<i>Recombinación</i>
---	----------------------

	Se siembran las semillas de la mezcla anterior. Cuando las plantas androestériles de esta población sean polinizadas, ocurrirá la recombinación. Las semillas cosechadas en esas plantas (<i>Msms</i> y <i>msms</i>) serán la base de la población mejorada.
--	--

Ventajas:

- Ocurre una recombinación en cada época de cultivo.
- Es eficiente para características de baja heredabilidad.
- Combina dos tipos de selección: entre progenies y dentro de ellas.
- La frecuencia de las plantas androestériles en población mejorada será de 50%.

Desventajas:

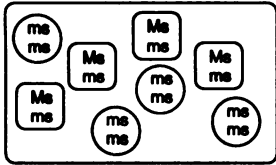
- Es necesario aislar cada descendencia.
- La cantidad de semilla producida por la planta androestéril debe ser suficiente para que haya en la progenie varias plantas *msms* para la recombinación.
- Durante la floración, es necesario identificar en la descendencia las plantas androestériles; este trabajo puede ser muy pesado cuando el número de descendientes sea grande.

Las unidades de recombinación son las semillas cosechadas en las plantas androestériles que se seleccionan dentro de las mejores descendencias. Un ciclo de selección comprende tres épocas de cultivo (Figura 13).

Figura 13. Selección de plantas fértiles, evaluación de su descendencia con aislamiento, y recombinación a partir de las plantas androestériles.

Selección

- Población original:



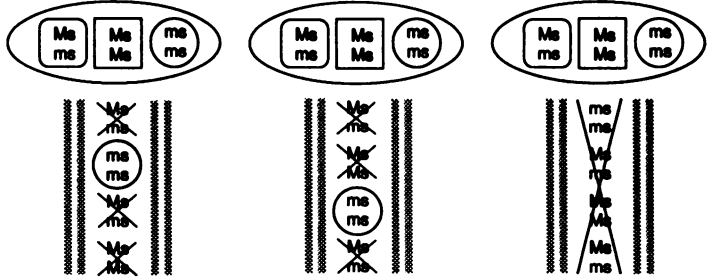
- Selección de plantas fértiles.



- Cosecha individual de las semillas de cada planta seleccionada.

Evaluación

- Siembra individual con aislamiento (líneas de maíz o arroz):

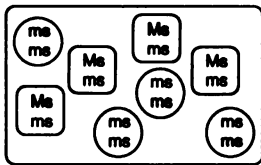


- Evaluación de las descendencias, elección de las mejores y selección de plantas androestériles

- Se mezclan las semillas de las plantas androestériles seleccionadas dentro de las descendencias elegidas.

Recombinación

- Siembra de la mezcla:

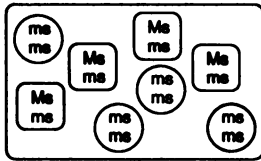


- Población mejorada.



- Cosecha y mezcla de las semillas de las plantas androestériles.

- Siembra de la mezcla:



- Población mejorada recombinada.

Extracción de Genotipos para la Selección de Líneas

El mejoramiento de poblaciones tiene como meta el desarrollo de fuentes de germoplasma, en las cuales los investigadores puedan obtener líneas que expresen, del mejor modo posible, la(s) característica(s) deseadas en el proceso de selección. Estos materiales, una vez extraídos de la población, son elaborados —es decir, seleccionados— por los distintos métodos de mejoramiento, con el fin de obtener líneas fijas; estas líneas, a su vez, se usarán luego como progenitores o serán lanzadas como variedades por los programas nacionales.

Otra razón para extraer líneas de las poblaciones es la conveniencia de evaluar, al final de cada ciclo, el progreso que ha logrado la estrategia de selección adoptada. El mejoramiento de las poblaciones no es la etapa final de este proceso sino una etapa intermedia, gracias a la cual aumenta la eficiencia de la final; ésta podría ser el plan de desarrollo de líneas fijas de las instituciones agrícolas, que se acelera mucho si parte de una población mejorada.

Cualquiera que sea el origen de una población, la extracción de genotipos se hará con los métodos tradicionales de mejoramiento, es decir, partiendo de las plantas fértiles de la población —o de las poblaciones— elegidas.

A. Extracción por el método del pedigrí

1. Población androestéril

Se obtiene esta población sembrando semillas de plantas androestériles.

Siembra	Metodología de campo
---------	----------------------

1	Selección 1
---	--------------------

	La población tendrá 50% de plantas estériles (<i>msms</i>) y 50% de plantas fértiles (<i>Msms</i>). En ella se seleccionan las plantas fértiles que expresen la(s) característica(s) de interés, y se cosecha la semilla de cada planta por separado. De estas semillas, unas tendrán genotipos fértiles, tanto homocigóticos (<i>MsMs</i>) como heterocigóticos (<i>Msms</i>), y otras genotipos androestériles (<i>msms</i>).
--	---

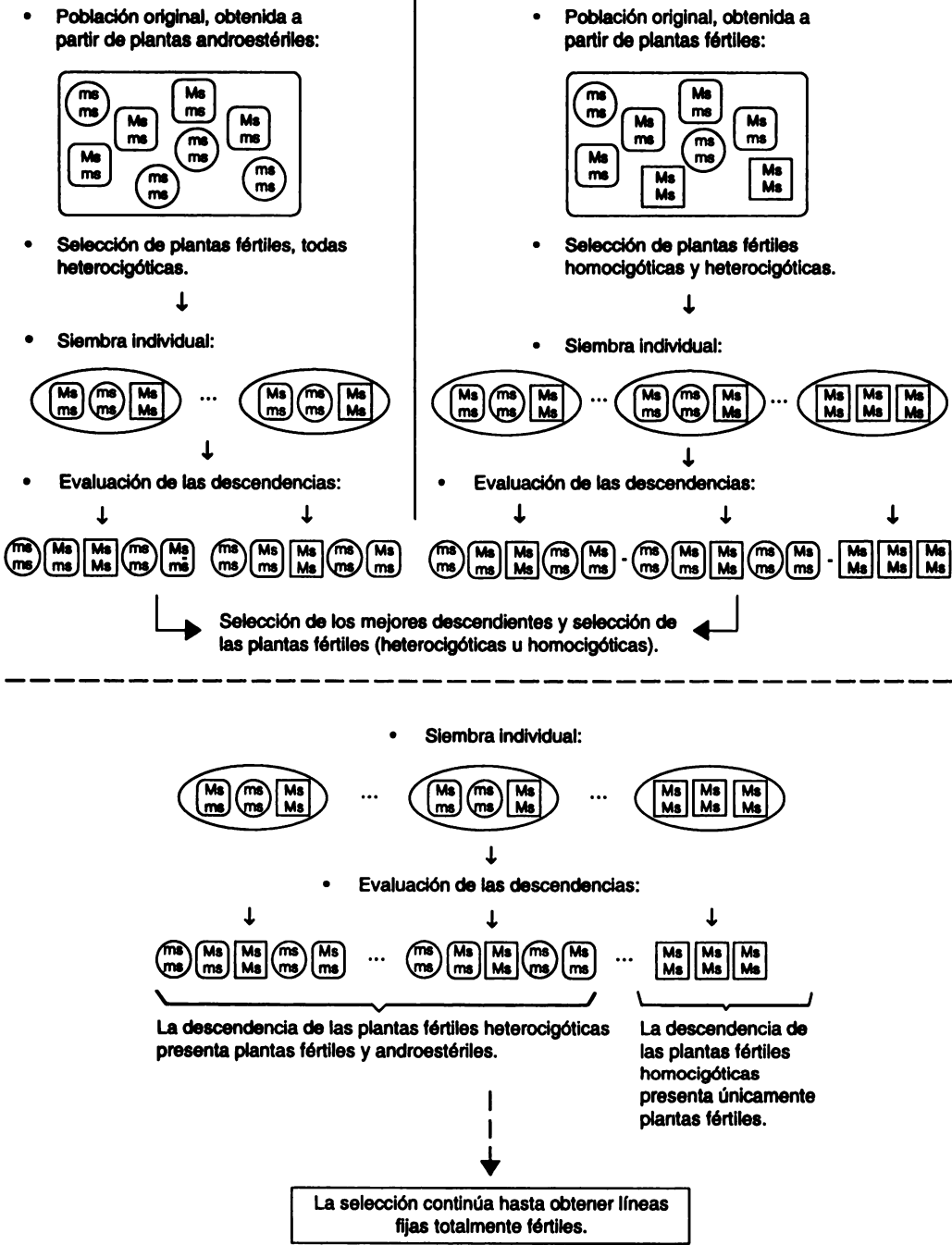
2	Selección 2
---	--------------------

	Se siembra la semilla de cada planta seleccionada. Las progenies de este material segregarán respecto a la característica androesterilidad, toda vez que provienen de plantas fértiles heterocigóticas (<i>Msms</i>) autofecundadas. Se escogen las mejores progenies y en ellas se seleccionan las plantas fértiles de mayor potencial agronómico. Se cosecha luego por separado cada una de las plantas escogidas (cosecha individual).
--	---

La selección debe continuar basada en las plantas fértiles (*MsMs* y *Msms*), las cuales segregarán, o no lo harán, según el genotipo que tengan. Si se prefiere continuar el proceso en las líneas segregantes, debe tenerse en cuenta que el mismo tipo de segregación ocurrirá en las generaciones siguientes y que las plantas androestériles aparecerán cada vez con menor frecuencia. En las líneas que no segregan, en cambio, no volverán a presentarse las plantas androestériles (Figura 14, 1.).

Figura 14. Extracción de líneas por el método del pedigrí.

1. Población androestéril



2. Población fértil

Esta población se obtiene sembrando semillas de plantas fértiles.

Contiene un 25% de plantas androestériles y un 75% de plantas fértiles; de éstas, 1/3 son homocigotas (*MsMs*) y 2/3 heterocigotas (*Msms*). Si se seleccionan las fértiles de genotipo *Msms*, se obtendrá el mismo tipo de segregación mencionado en el caso anterior; las plantas *MsMs* no segregarán. Ahora bien, la diferencia principal entre este caso y el anterior es la frecuencia de plantas androestériles obtenidas en la primera evaluación. El procedimiento de selección debe ser igual en ambos casos (Figura 14, 2.).

B. Extracción por el método del cultivo de anteras

Este método permite ahorrar tiempo en la obtención de líneas fijas. Cuando se emplea en poblaciones que segregan respecto al gen de androesterilidad, surgen ciertos problemas que no se presentarían si los cruces utilizados carecieran de ese gen.

La población está constituida por plantas androestériles (*msms*) y plantas fértiles; éstas últimas son tanto heterocigotas (*Msms*) como homocigotas (*MsMs*). Estas plantas no podrán identificarse antes de la floración; por lo tanto, el laboratorio estará manejando anteras que no formarán callos, a causa de su origen, o darán callos que producirán plantas androestériles.

Una forma de evitar la siembra de anteras de plantas androestériles es la identificación de éstas en la población al momento de la floración del primer tallo. Esas plantas se descartarían y se tomarían entonces los tallos de las plantas identificadas como fértiles.

Para minimizar los inconvenientes que causan las plantas androestériles que aparecen en la población, se debe preferir el uso de poblaciones derivadas de plantas fértiles, porque en ellas la frecuencia de las plantas androestériles es de sólo 25%.

Las líneas fértiles obtenidas mediante el cultivo de anteras se someten a selección y siguen luego el flujo normal del programa de mejoramiento, ya sea para evaluación de su rendimiento, para hacer cruces o para otros objetivos del programa.

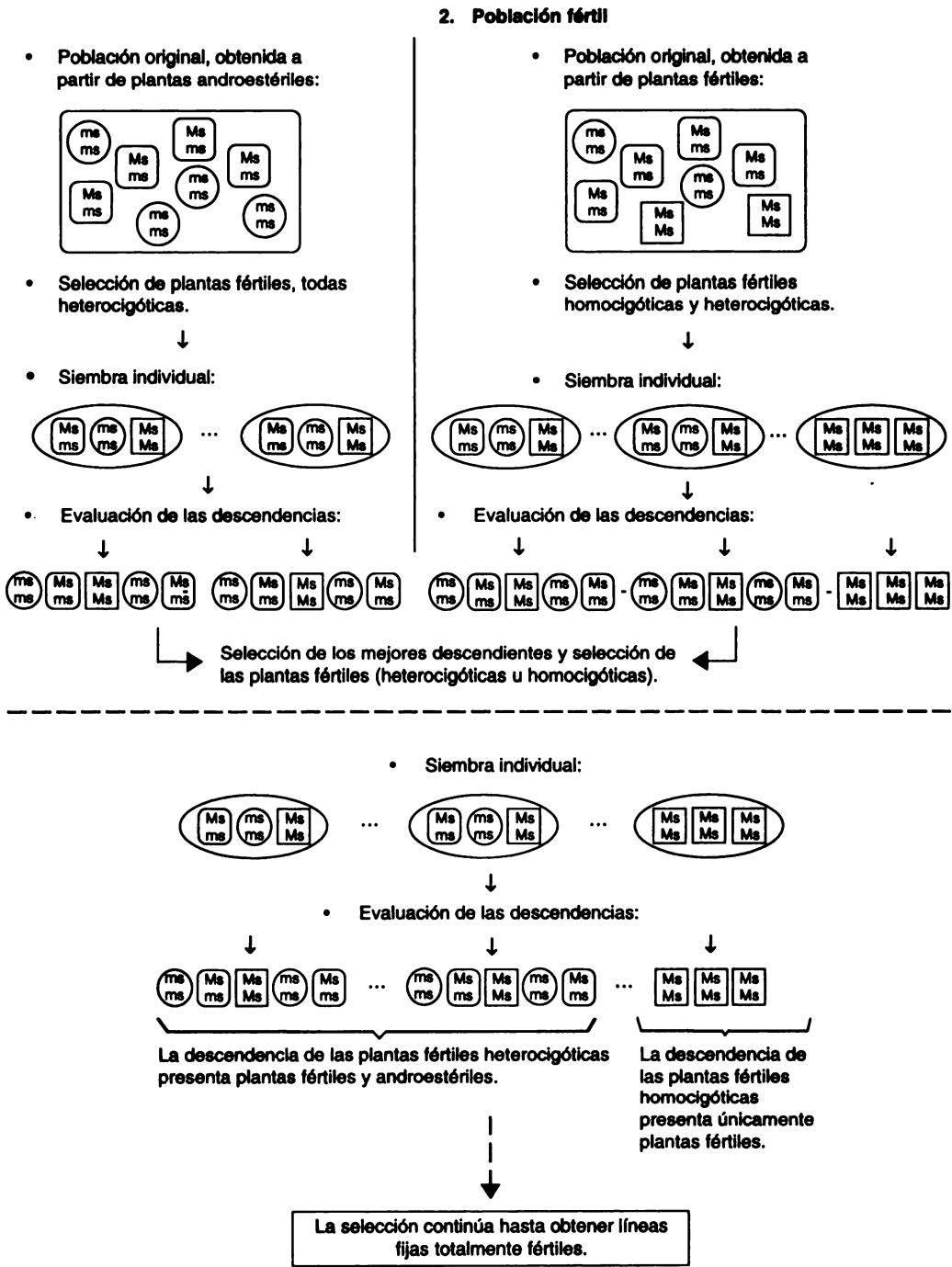
Introducción de Nueva Variabilidad en las Poblaciones

El mejoramiento de poblaciones es un proceso dinámico en que se combinan la selección de individuos y la recombinación de los mejores individuos. Ese dinamismo se puede intensificar con la introducción de nuevos genotipos, porque éstos amplían la base genética de la población estudiada o la mejoran respecto a una, o varias, características que no poseía —o logran ambos efectos.

La nueva variabilidad se introduce en la población mediante cruces entre plantas androestériles (*msms*) y plantas fértiles (*MsMs*) de las líneas que se desea introducir, como fuente de variabilidad, en la población. Estos cruces pueden ser dirigidos o pueden producirse al azar. La contribución de cada progenitor se puede controlar en el primer caso y se estima en el segundo.

En el proceso de formación de una nueva población, ya sea con cruzamientos dirigidos o al azar, puede haber una etapa de evaluación de estos cruzamientos antes de la siembra en que ocurrirá la recombinación.

Figura 14. Extracción de líneas por el método del pedigrí.



1. Cruces dirigidos

a. Mezclando las semillas híbridas

Siembra	Metodología de campo
---------	----------------------

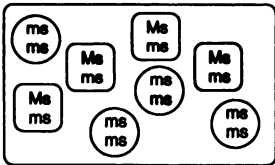
- | | |
|---|---|
| 1 | <p>Cruzamientos</p> <p>Cada línea (<i>MsMs</i>) que se desee introducir como fuente de variabilidad se cruza con varias plantas androestériles (<i>msms</i>) de la población. Estos cruces producirán semillas híbridas (<i>Msms</i>).</p> |
| 2 | <p>Autofecundación</p> <p>Las semillas híbridas (<i>Msms</i>) se mezclan —ya sea en igual proporción o en porcentajes que equivalgan a la contribución deseada de cada nuevo progenitor— y se inicia con ellas el ciclo de recombinación de las fuentes de variabilidad con la población original. Las plantas F_1 fértiles (<i>Msms</i>) son autofecundadas y producen semillas F_2, que son tanto androestériles (25%, <i>msms</i>) como fértiles (25% <i>MsMs</i> y 50% <i>Msms</i>). En la generación F_1 se hará cosecha masal de las semillas de todas las plantas, cosecha que conformará la población F_2.</p> |
| 3 | <p>Recombinación</p> <p>Se siembran las semillas de la población de plantas F_2. En esta población se cosecharán las semillas producidas por las plantas androestériles (<i>msms</i>) que fueron fecundadas por el polen de las fértiles. La mezcla de esas semillas constituirá la nueva población, la cual tendrá plantas androestériles (<i>msms</i>) y plantas fértiles (<i>Msms</i>).</p> |

La variabilidad presente en la nueva población proviene, en un 50%, del germoplasma que tiene el gen de androesterilidad, y en el 50% restante de las líneas introducidas. Para introducir nueva variabilidad en una población mediante este proceso se requieren tres épocas de cultivo (Figura 15).

Figura 15. Introducción de nueva variabilidad mediante cruces dirigidos sin evaluación de las generaciones F_1 .

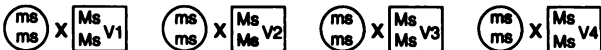
Cruzamientos

- Población original:

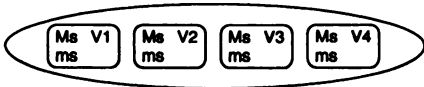


- Selección de plantas androestériles.

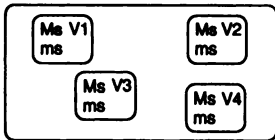
- Cruces individuales entre plantas androestériles de la población y 4 fuentes de variabilidad (V1 a V4):



- Cosecha y mezcla de las semillas híbridas de todos los cruzamientos:



- Siembra de la mezcla:

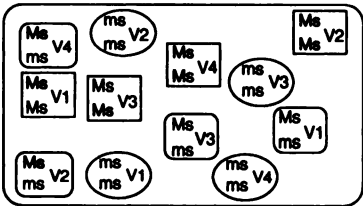


- Población de plantas fértiles F_1 .

- Cosecha masal y mezcla de las semillas F_2 .

Recombinación

- Siembra de la mezcla:

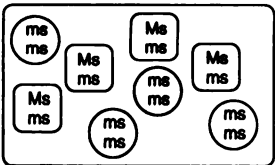


- Población de plantas F_2 .

- Cosecha y mezcla de las semillas de las plantas androestériles.

Nueva población

- Siembra de la mezcla:



- Nueva población:
 - 50% de población original.
 - 50% de nuevas fuentes de variabilidad. (V1, V2, V3 y V4).

b. Haciendo cruces individuales y selección en cada F_1

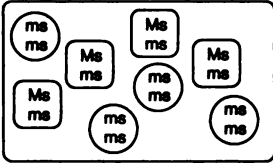
Siembra	Metodología de campo
1	Cruzamientos Cada línea ($MsMs$) que se desee introducir como fuente de variabilidad se cruzará con varias plantas androestériles ($msms$) de la población. Estos cruces darán semillas híbridas ($Msms$).
2	Selección y autofecundación Se siembran las semillas híbridas ($Msms$) de cada cruce por separado. Se evalúan los descendientes de cada combinación (o cruce) y se seleccionan los mejores. Las plantas fértiles ($Msms$) de las generaciones F_1 seleccionadas se dejan autofecundar; las semillas producidas constituyen la F_2, y de ellas el 25% es androestéril ($msms$) y el resto fértil (25% $MsMs$ y 50% $Msms$).
3	Recombinación Se siembran las semillas de la generación F_2, de tal manera que se obtenga alguno de los siguientes objetivos: que todos los cruces estén pareados, que se agrupen los cruces según el interés particular del investigador o que se mezclen las semillas de cada cruce en proporciones iguales. De las semillas producidas por esta generación F_2, se cosecharán solamente las de las plantas androestériles; la mezcla de estas semillas será la nueva población.

La variabilidad presente en la nueva población proviene, en un 50%, del germoplasma que posee el gen de androesterilidad y, en el 50% restante, de las líneas introducidas que fueron conservadas después de su evaluación en la F_1 . Para introducir nueva variabilidad en una población mediante este proceso, se requieren tres épocas de cultivo (Figura 16).

Figura 16. Introducción de nueva variabilidad en cruces dirigidos, con evaluación de la generación F_1 .

Cruzamientos

- Población original:



- Selección de plantas androestériles.



- Cruces individuales entre plantas androestériles de la población y 4 fuentes de variabilidad (V1 a V4):



- Cosecha individual de las semillas híbridas de cada cruzamiento.



Evaluación

- Siembra y evaluación de cada F_1 :

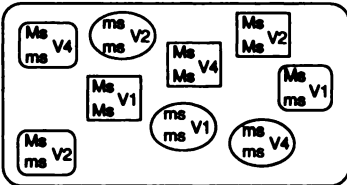


- Cosecha y mezcla de las semillas F_2 de cada F_1 seleccionada.



Recombinación

- Siembra de la mezcla:



- Población de plantas F_2 .

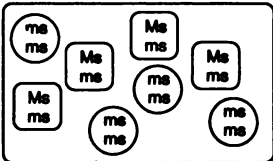


- Cosecha de las semillas de las plantas androestériles.



Nueva población

- Siembra de la mezcla:



- Nueva población constituida por:

- 50% de población original.
- 50% de nuevas fuentes de variabilidad (V1, V2 y V4).

2. Cruces al azar con mezcla de semilla

a. Mezcla no dirigida

Siembra	Metodología de campo
---------	----------------------

1	<i>Cruzamientos y recombinación</i>
---	-------------------------------------

Las semillas de las líneas que son fuente de variabilidad (<i>MsMs</i>) se mezclan físicamente —ya sea en proporciones iguales o diferentes— con las semillas de la población que contiene el gen de androesterilidad. Se siembra luego la mezcla y se cosechan las semillas producidas por las plantas androestériles. Estas plantas (<i>msms</i>) fueron fecundadas por el polen <i>Ms</i> de las plantas fértiles de las variedades introducidas y también por el polen (<i>Ms</i> y <i>ms</i>) de la población en que se desea introducir la nueva variabilidad. Las semillas tendrán, por tanto, los genotipos <i>Msms</i> y <i>msms</i> (Figura 17).
--

El objetivo ideal de este método es el siguiente: 50% de los genes de una población que se desarrolle con líneas introducidas debe provenir de la población que proporcione el gen de androesterilidad, y el otro 50%, de la mezcla de las variedades empleadas como fuente de variabilidad. En realidad, el objetivo no se cumple porque la contribución de las fuentes de variabilidad es menor que el 50%.

Ejemplo

La contribución de cada fuente aparece en este ejemplo. Suponemos que 4 variedades son la fuente de variabilidad y que la mezcla inicial contiene 4000 plantas: la mitad para la población original y la otra mitad para las cuatro fuentes.

La población original contiene 1000 plantas androestériles *msms* (llamadas aquí AO) y 1000 plantas fértiles *Msms* (llamadas FO); hay también 500 plantas de la variedad fuente número 1 (abreviada como V1), 500 de la variedad 2 (V2), 500 de la variedad 3 (V3) y 500 de la variedad 4 (V4). En total, 4000 plantas.

Las 1000 plantas AO de esa población recibirán polen de las 1000 FO y de las 2000 de las variedades fuente. Todo el polen (100%) proviene de las plantas fértiles, así: la población FO contribuye con 33.3% (son 1000 plantas macho de un total de 3000 de éstas) y las variedades fuente (V1 a V4) con 66.6% (son 2000 plantas macho de un total de 3000 de éstas).

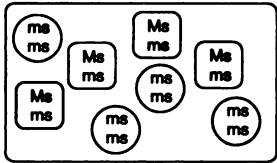
Conviene recordar que, en el momento de la polinización, las plantas fértiles (machos) aportan 50% de la dotación genética de los cruces y las androestériles (hembras) el 50% restante.

Por consiguiente, 50% de los genes de la población resultante serán de las plantas androestériles; 16.7% vendrán de las plantas fértiles de la población original —o sea, 33.3% del polen total multiplicado por 50% de contribución génica masculina— y 33.2% de las 4 variedades fuente de variabilidad —cada una contribuirá con 8.3%, es decir, 66.6% del polen total multiplicado por 50% de contribución de las plantas que actuaron como machos y dividido por 4 variedades.

Figura 17. Introducción de nueva variabilidad mediante cruces totalmente al azar.

Cruzamientos

- Población original:

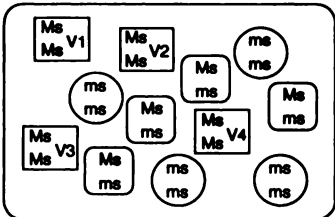


- Mezcla física de las semillas de la población y de las fuentes de variabilidad (V1 a V4):

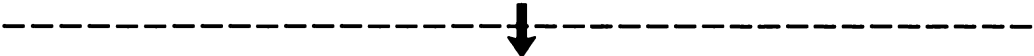


Recombinación

- Siembra de la mezcla:

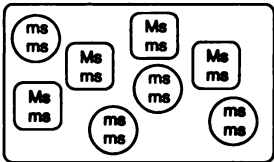


- Cosecha y mezcla de las semillas producidas por las plantas androestériles.



Nueva población

- Siembra de la mezcla:



- Nueva población.

b. *Mezcla dirigida*

En esta metodología se emplea la técnica de bloques de cruzamiento desarrollada para producir semillas de arroz híbrido (J. Taillebois, CIRAD-CA, Guayana Francesa, comunicación personal).

Siembra	Metodología de campo
---------	----------------------

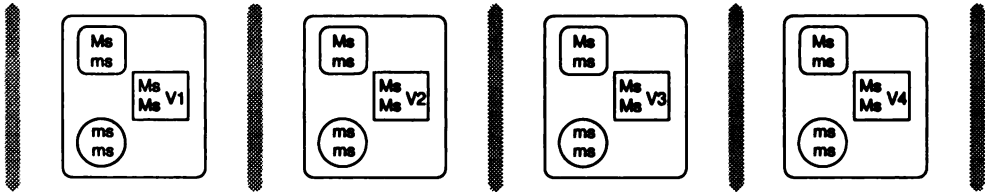
1	Cruzamientos Se mezclan las semillas de cada una de las fuentes de variabilidad (V1 a Vn) con las semillas de la población que posee el gen de androesterilidad (mezclas individuales). Cada mezcla se siembra en parcelas o "bloques de cruzamiento", separadas unas de otras por barreras de maíz o por variedades de arroz de ciclo largo y planta alta. Dentro de cada bloque ocurren cruces al azar en que intervienen las plantas androestériles (<i>msms</i>) de la población, el polen (<i>Ms</i>) de las plantas fértiles (<i>MsMs</i>) de la fuente de variabilidad y el polen (<i>Ms</i> y <i>ms</i>) de las plantas fértiles (<i>Msms</i>) de la población. En cada parcela se cosecharán las semillas (<i>Msms</i>) producidas por las plantas androestériles (<i>msms</i>). Esta metodología permite controlar mejor el aporte genético de cada fuente de variabilidad.
2	Recombinación Se siembran cantidades iguales de las semillas de las plantas androestériles de cada cruzamiento dirigido. Las plantas androestériles (<i>msms</i>) de esta población serán fecundadas por plantas fértiles (<i>Msms</i>) provenientes de los diferentes cruces. Se cosechan las semillas producidas en las plantas <i>msms</i> y se mezclan; esta mezcla será la base de la nueva población.

La Figura 18 ilustra la manera de obtener la nueva población utilizando los bloques de cruzamiento. La contribución de cada una de las variedades que son fuente de variabilidad debe estimarse como se indicó antes (ver pág. 38).

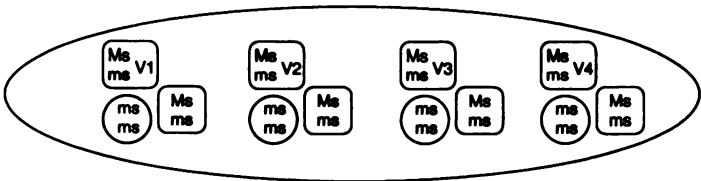
Figura 18. Introducción de nueva variabilidad en mezcla dirigida de semilla (bloques de cruzamientos aislados).

Cruzamientos

- Mezcla de cada fuente de variabilidad, por separado, con la población original:

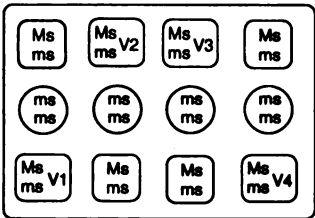


- Cosecha y mezcla de las semillas de las plantas androestériles de cada cruzamiento:



Recombinación

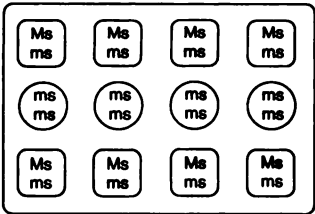
- Siembra de la mezcla:



- Cosecha y mezcla de las semillas de las plantas androestériles.

Nueva población

- Siembra de la mezcla:



- Nueva población.

Referencias

- Fujimaki, H. 1978. Recurrent selection by using genetic male sterility for rice improvement. Jpn. Agric. Res. Q. 13:153-156.
- Guimarães, E. P.; Correa-Victoria, F.; y Tulande, E. s.f. GC-91, a broad-based rice synthetic population for blast (*Pyricularia grisea* Sacc.) resistance. Rev. Bras. Genet. (Aceptado para publicación.)
- Sarkarung, S. 1991. A simplified crossing method for rice breeding: A manual. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 32 p.
- Singh, R. J. e Ikehashi, H. 1981. Monogenic male-sterility in rice: Induction, identification and inheritance. Crop Sci. 21:286-289.

Bibliografía Reciente

- Ahmadi, N. y Diaby, M. 1993. Amélioration variétale pour la riziculture inondée. Rapport 1993. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement - Département des cultures annuelles e Institut d'économie rurale, Mali (CIRAD-CA/IER), Montpellier, Francia. 25 p.
- Bueno M., J. M. 1994. Evaluación del progreso genético por resistencia a *Pyricularia grisea* Sacc. en un ciclo de selección recurrente en la población de arroz *Oryza sativa* GC-91. Tesis (Ing. Agrón.). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional, Palmira, Colombia. 80 p.
- Chatel, M. y Guimarães, E. P. 1994. Review of the present status and proposals of rice germplasm enhancement for Latin America and the Caribbean, using recurrent selection. En: Proceedings of the CIRAD-CA First International Upland Rice Breeders Workshop, September 1994. CIRAD-CA, Montpellier, Francia. 10 p.
- Chatel, M.; Guimarães, E. P.; Ospino, Y.; y Borrero, J. 1994. Upland rice improvement in recessive male-sterile gene pool and populations. CIRAD-CA/CIAT rice special project for 1993-1994. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 30 p.
- Enjalbert, J. 1993. La sélection récurrente sur le riz d'altitude a Madagascar; rapport de campagne 1992-1993. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD-CA) y Centre national de la recherche appliquée au développement rural (FOFIFA, Madagascar), Montpellier, Francia. 21 p.
- Enjalbert, J. 1994. Sélection récurrente; rapport de campagne 1993-1994. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD-CA) y Centre national de la recherche appliquée au développement (FOFIFA, Madagascar), Montpellier, Francia. 23 p.
- Marín G., J. M. 1994. Efecto del número de ciclos de recombinación en la variabilidad genética de poblaciones de arroz (*Oryza sativa* L.). Tesis (Ing. Agrón.). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional, Palmira, Colombia. 50 p.
- Rangel, P. H. 1992. La selección recurrente mejora el arroz brasileño. Arroz en las Américas 13(1):4-5.
- Rangel, P. H.; Neves, P. C.; y Morais, O. P. 1992. La selección recurrente recombina genes en el arroz de riego. Arroz en las Américas 13(3):2-4.
- Rangel, P. H.; Zimmermann, F.; y Neves, P. C. s.f. Aumento do potencial produtivo do arroz irrigado através de seleção recorrente. Rev. Bras. Genet. (En impresión.)
- Vales, M. 1992. Recurrent selection for partial rice blast resistance in Côte d'Ivoire. En: Biologie de la reproduction et amélioration des plantes; rapport du 13ème Congrès Eucarpia, juillet 1992, Angers, Francia.

Vales, M. 1994. Pathologie du riz; rapport de synthèse 1986-1994. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD-CA) e Institut des savannes (IDESSA, Costa de Marfil), Montpellier, Francia.

Veillet, S. 1993. Organization of the genetic variability and recurrent selection in rice *Oryza sativa* L. Tesis (Doctorat). Institut National Agronomique, Paris Grignon, Francia.

Pancartas (posters) Presentadas

En la IX Conferencia Internacional de Arroz para América Latina y el Caribe celebrada en Goiânia, Brasil, en marzo de 1994, se exhibieron las siguientes pancartas:

Chatel, M.; Taillebois, J.; Ahmadi, N.; y Dechanet, R. Rice recurrent selection at CIRAD-CA.

Chatel, M.; Guimarães, E. P.; y Huertas, C. Rice germplasm enhancement for Latin America and the Caribbean (LAC).

Cordeiro, A. C. y Rangel, P. H. Ensaios de avaliação de famílias S_2 de arroz irrigado em Roraima (Brasil).

Filippi, M. C.; Neves, P. C.; Notteghem, J. L.; y Prabhu, A. S. Recurrent selection for partial resistance to leaf blast in upland rice.

Guimarães, E. P.; Correa-Victoria, F.; y Tulande, E. Selección recurrente, metodología para desarrollar resistencia al añublo del arroz.

Morais, O. P.; Silva, J. C.; Cruz, G. D.; Regazzi, A. J.; y Neves, P. C. Parâmetros genéticos da população de arroz irrigado CNA-IRAT 4/0/3.

Morais, O. P.; Silva, J. C.; Cruz, G. D.; Regazzi, A. J.; y Neves, P. C. Análise multivariada da divergência genética dos progenitores da população de arroz irrigado CNA-IRAT 4/0/3.

Rodrigues, R. E.; Rangel, P. H.; y Zimmermann, F. Ganhos de seleção numa população de arroz irrigado oriunda de inter cruzamientos usando macho-esterilidade genética.

Veillet, S.; Chatel, M.; Filippi, M. C.; y Neves, P. C. Index selection for yield and partial blast resistance in upland rice recurrent selection.

Capítulo 2

Ejemplos del Uso de la Selección Recurrente

Los Programas Nacionales y los Institutos Internacionales que investigan en arroz emplean el método de la selección recurrente en trabajos de mejoramiento orientados al desarrollo de poblaciones, al mejoramiento de éstas y a la producción de líneas. A continuación presentamos ejemplos del uso que se da al método tanto en arroz de riego como de secano, para el mejoramiento de diversas características de ese cultivo.

Ejemplo 1

Selección Recurrente para Arroz de Riego Manejada por CNPAF/EMBRAPA, Goiânia, Brasil

Paulo H. N. Rangel

Este trabajo se basa en el acervo de genes CNA-IRAT 4/0/5, que fue desarrollado por un proyecto en que intervinieron conjuntamente CNPAF/EMBRAPA y el CIRAD-CA (antes IRAT) desde principios de 1984. La introducción de líneas mejoradas o la selección hecha en ese acervo de genes (gene pool) permitió desarrollar las poblaciones que se describen a continuación:

CNA 1: con tres líneas (CT7363-5-3-10-M, CT6910-2-3-3-M y Bluebelle) que fueron introducidas al acervo de genes CNA-IRAT 4/0/5.

CNA 5: con nueve líneas (Metica 1, BR IRGA-409, CICA 8, De Abril, Paga Dívida, Quebra Cacho, Brejeiro, IR1342 y Basmati 370) que fueron introducidas en la población CNA 1.

CNA-IRAT 4PR: se originó por selección y recombinación de plantas precoces fértiles escogidas en líneas S_2 de la población CNA-IRAT 4/1/1.

CNA-IRAT 4ME: se originó por selección y recombinación de plantas fértiles de ciclo medio escogidas en líneas S_2 de la población CNA-IRAT 4/1/1.

CNA 2M y CNA 2R: se desarrollaron con la introducción de líneas restauradoras y mantenedoras para el citoplasma androestéril WA en el acervo de genes CNA-IRAT 4.

El Programa Nacional de Arroz de Brasil mejora el germoplasma de este cereal para incrementar el rendimiento de grano y la resistencia a las enfermedades. Este trabajo se basa en una efectiva colaboración entre las instituciones de cada estado que participan en el proyecto. Los materiales desarrollados a partir de las diferentes poblaciones son evaluados como familias S_2 ; los que, a juicio de las instituciones participantes se consideren mejores, son recombinados.

Cada miembro del proyecto tiene una responsabilidad: al CNPAF/EMBRAPA corresponde el desarrollo y la recombinación de las familias S_2 seleccionadas, y a las instituciones de los estados las evaluaciones en múltiples localidades. En cada estado se señala el material que se considera el mejor, y estos materiales selectos serán la base del mejoramiento de poblaciones; se emplean además en los estados como fuente de líneas mejoradas para el desarrollo de variedades.

Desarrollo de las poblaciones CNA-IRAT 4PR y CNA-IRAT 4ME

Las poblaciones CNA-IRAT 4PR y CNA-IRAT 4ME se desarrollaron partiendo de la selección de familias S_1 (primera etapa) y de familias S_2 (segunda etapa). En la primera etapa de producción se derivaron 100 familias a partir de plantas fértiles seleccionadas en el acervo de genes CNA-IRAT 4/0/3; una vez evaluadas éstas, se escogieron entre ellas las 14 mejores y, dentro de cada una de ellas, 10 plantas. Las 140 plantas seleccionadas fueron recombinadas para conformar la población CNA-IRAT 4/1/1.

En la segunda etapa, la nueva población se sembró y evaluó en Goiânia, donde fueron escogidas 121 plantas fértiles precoces y 102 de ciclo medio para conformar dos grupos de materiales. Se evaluaron las familias S_2 y las mejores de cada grupo fueron recombinadas; con ellas se crearon las poblaciones CNA-IRAT 4PR, del grupo precoz, y CNA-IRAT 4ME, del grupo de ciclo medio.

Mejoramiento de las poblaciones CNA-IRAT 4PR y CNA-IRAT 4ME

En este proyecto, desarrollado en colaboración con varios estados brasileños, el mejoramiento de las poblaciones se basa en la selección de familias S_2 . En 1991, se escogieron 164 plantas de cada población para evaluar el progreso que se había hecho después de un ciclo de selección. Las familias S_2 derivadas de esas poblaciones fueron evaluadas en Goiânia, estado de Goiás, y en Formoso do Araguaia, estado de Tocantins.

Todas las características analizadas presentaron diferencias estadísticas entre cada grupo de familias y sus testigos. Los promedios de rendimiento fueron 4649 y 4513 kg/ha para los grupos precoz y de ciclo medio, respectivamente; asimismo, las seis mejores familias del primer grupo rindieron más de 6000 kg/ha y las dos mejores del segundo grupo más de 7000 kg/ha.

Los coeficientes de variación genética para los grupos precoz y de ciclo medio fueron, respectivamente:

- para rendimiento de grano, 10.40% y 10.99%;
- para floración, 2.50% y 2.92%;
- para resistencia a *Helminthosporium oryzae*, 6.28% y 9.54%;
- para resistencia a la piricularia del cuello de la panícula, 12.01% y 9.07%.

Los fitomejoradores de maíz consideran que valores superiores a 7.0% son buenos indicadores del potencial genético de una población.

Los resultados de este trabajo indicaron que el proceso de selección recurrente fue eficiente en lo que respecta al mejoramiento de poblaciones. Más aún, considerando los niveles actuales de ganancia genética, en ocho ciclos de selección, el rendimiento de grano de las poblaciones CNA-IRAT 4PR y CNA-IRAT 4ME se habrá duplicado.

Desarrollo de líneas

En general, la selección de genotipos de una población persigue tres objetivos: a) evaluar el nivel de variabilidad genética que tiene actualmente la población; b) mejorar la población a través de selección y recombinación de los mejores genotipos; y c) desarrollar líneas fijas para obtener de ellas variedades comerciales.

En este proyecto se han adoptado los tres objetivos mencionados. La obtención de líneas mejoradas es una etapa de la cual se encargan las instituciones estatales. Durante el proceso de evaluación de líneas para el siguiente ciclo de recombinación, cada estado escoge aquellas que más se adapten a las condiciones locales y las incorpora a sus programas de mejoramiento. Este proceso se ha repetido ya dos veces y el material seleccionado sigue bajo evaluación. Los resultados positivos que genere ese proceso podrán observarse solamente dentro de 2 ó 3 años, es decir, cuando las líneas seleccionadas por los programas se incorporen a las actividades de la red de mejoramiento de arroz que existe en Brasil.

Ejemplo 2

Selección Recurrente para Arroz de Secano Manejada por CIRAD-CA y CIAT, Villavicencio, Colombia

M. H. Chatel y E. P. Guimarães

Este proyecto tiene como objetivo el desarrollo y el mejoramiento de acervos de genes y de poblaciones de arroz para las sabanas tropicales de América Latina que tengan buena distribución de lluvias. El interés de los mejoradores se centra en los siguientes caracteres: tolerancia a la acidez, precocidad, calidad del grano y resistencia a las enfermedades.

El CIRAD-CA y el CNPAF/EMBRAPA desarrollaron en Brasil el acervo de genes de tipo japonico tropical CNA-IRAT 5/0/3. Al introducir en éste nueva variabilidad, se desarrollaron las siguientes poblaciones:

CNA-IRAT A/0/1: se formó con la introducción de líneas japónicas precoces de secano.

CNA-IRAT P/1/0F: formada por introducción de líneas indicas modernas de riego.

IRAT Lulu: contiene líneas indicas de riego y materiales aromáticos.

En 1992, el CIRAD-CA y el CIAT introdujeron en Colombia estos materiales y en 1993 empezaron a evaluarlos en Villavicencio. Cada grupo de germoplasma estaba representado por 2000 semillas que se sembraron en parcelas individuales aisladas. Una muestra de 400 plantas se usó para caracterizar cada material respecto a los siguientes componentes: tolerancia a la acidez, vigor inicial, floración, altura de la planta, número de macollas y reacción a la piricularia del cuello de la panícula.

El comportamiento de esas poblaciones en los suelos ácidos fue bueno. En los grupos de germoplasma CNA-IRAT 5, CNA-IRAT A y CNA-IRAT P, más del 82% de las plantas presentaron reacciones de tolerancia al estrés causado por los suelos ácidos. En la población IRAT Lulu, solamente el 66% de las plantas fueron tolerantes a dicho estrés.

Las poblaciones indico-japónicas CNA-IRAT P e IRAT Lulu presentaron, respectivamente, los porcentajes más altos de plantas vigorosas (50.8% y 38.4%), tardías (42.6% y 67.5%), de poca altura (40.9% y 50.3%), y cuya producción de macollas tenía cerca de 80% de la variabilidad concentrada entre 17 y 36 macollas por planta.

Los grupos de germoplasma puramente japonico (CNA-IRAT 5 y CNA-IRAT A) reaccionaron mejor a la piricularia del cuello de la panícula (6.8% y 3.7% de plantas

susceptibles, respectivamente) que las poblaciones indico-japónicas CNA-IRAT P e IRAT Lulu. En esta última, el 52.1% de las plantas fueron susceptibles.

Los resultados presentados en los párrafos anteriores se explican partiendo de la constitución genética de cada germoplasma; ahora bien, ésta ha recibido la influencia de los diferentes materiales introducidos en el acervo de genes CNA-IRAT 5.

Después de un ciclo de evaluación, se concluyó que la población CNA-IRAT A/O/1 estaba mejor adaptada a los objetivos del programa y debía emplearse, por tanto, como fuente de androesterilidad para desarrollar una nueva población.

Desarrollo de la población PCT-4\0\0\0

Partiendo de la información disponible en el programa de mejoramiento que tradicionalmente maneja el CIAT, fueron escogidas 8 líneas (CT11231-2-2-1-4-M, CT11231-2-2-3-1-M, CT11231-2-2-2-1-2-M, CT11608-8-6-M-2-M, CT11608-9-2-1-2-M, CT6196-33-11-1-3-M, A 8-394 e IR53167-3-M) como fuente de variabilidad para el desarrollo de la nueva población. Esta se creó cruzando manualmente cada línea con las plantas androestériles de la población CNA-IRAT A/O/1.

Las generaciones F_1 que resultaron de estos cruces fueron sembradas en CIAT-Palmira. Se observó el comportamiento de cada una de estas combinaciones y se decidió eliminar aquella en que estaba involucrada la línea CT11608-9-2-1-2-M porque presentaba una tasa muy elevada de espiguillas estériles. Las semillas (generación F_2) de los siete cruces restantes fueron mezcladas en cantidades proporcionales según el origen genético de las líneas introducidas; estas semillas son la base de la población PCT-4\0\0\0. Las evaluaciones se iniciarán en Villavicencio después del primer ciclo de recombinación de la población.

Mejoramiento de las poblaciones CNA-IRAT 5/0/3, CNA-IRAT A/O/1, CNA-IRAT P/1/0F e IRAT Lulu

El mejoramiento del acervo de genes CNA-IRAT 5 y de las poblaciones CNA-IRAT A y CNA-IRAT P se inició en 1993. Los criterios de selección fueron los siguientes: tolerancia a la acidez, precocidad, calidad del grano y resistencia a las enfermedades. Se empleó el método de selección masal en plantas androestériles, es decir, se seleccionaron las mejores plantas dentro del germoplasma que se evaluaba. En la siguiente generación se sembró la semilla producida por esas plantas y se hizo una nueva selección de plantas androestériles.

En cada siembra se hacía la recombinación de las plantas anteriormente seleccionadas y se practicaba una nueva selección, de tal manera que un ciclo de selección recurrente fuera igual a una generación de siembra. El proceso se repitió tres veces. En 1994, esos materiales fueron recombinados en CIAT-Palmira sin hacerles selección; las semillas cosechadas en las plantas androestériles se consideran la base de las nuevas poblaciones mejoradas, cuya identificación es la siguiente: PCT-5\0\0\0, PCT-A\0\0\0 y PCT-P\0\0\0.

Desarrollo de líneas

Para desarrollar líneas fijas, se aplicaron criterios de selección similares a los mencionados anteriormente, a saber: tolerancia a los suelos ácidos, aparición de la floración 86 días después de la siembra o antes, altura de planta inferior a 95 cm, más de seis macollas por planta y resistencia a la picularia del cuello de la panícula.

En 1993, en el primer semestre, 203 plantas fértiles S₀ fueron seleccionadas en tres de los cuatro grupos originales de germoplasma que se evaluaron, es decir, 76, 111 y 16 plantas en CNA-IRAT 5, CNA-IRAT A y CNA-IRAT P, respectivamente. Se descartó la población IRAT Lulu por su alta susceptibilidad al añublo (piricularia). En el segundo semestre se seleccionaron 148 plantas fértiles en los grupos de germoplasma provenientes del primer ciclo de selección recurrente para suelos ácidos, o sea, 59, 82 y 7 plantas en CNA-IRAT 5\SA\0\3, CNA-IRAT A\SA\0\1 y CNA-IRAT P\SA\0\0F, respectivamente.

En el primer semestre de 1994 se seleccionaron 229 plantas fértiles en los grupos de germoplasma provenientes del segundo ciclo de selección recurrente para suelos ácidos, o sea, 31 en CNA-IRAT 5\SA\1\3,SA\0; 167 en CNA-IRAT A\SA\1\1,SA\0; y 31 en CNA-IRAT P\SA\1\0F,SA\0. En el segundo semestre de ese año, todas las líneas seleccionadas que provenían de las plantas fértiles escogidas en los grupos de germoplasma originales y aquellas que tenían uno o dos ciclos de recurrencia se sembraron en CIAT-Palmira para multiplicar su semilla.

Las líneas derivadas de las plantas seleccionadas, tanto en la población original CNA-IRAT P/1/0F como en el primer ciclo de recurrencia, fueron descartadas porque presentaban características agronómicas indeseables.

Cada etapa de selección en las poblaciones recurrentes se empleará como fuente de germoplasma para el desarrollo de líneas destinadas a los suelos ácidos de las sabanas. Las plantas seleccionadas hasta 1994 continuarán sometidas a selección en el programa de desarrollo de líneas fijas.

Ejemplo 3

Selección Recurrente por Resistencia a la Piricularia y al Virus "Rice Yellow Mottle Virus" Manejada por CIRAD-CA/ IDESSA y por CIRAD-CA/WARDA, Bouake, Costa de Marfil

M. Vales, N. Yoboue y A. Sy

Este proyecto tiene dos objetivos: desarrollar poblaciones de arroz de secano con resistencia duradera a la piricularia, y crear nuevas poblaciones que ofrezcan resistencia al virus "Rice Yellow Mottle Virus" (RYMV) en las condiciones del arroz de riego en África.

Desarrollo de las poblaciones IDSA-IRAT 1, 8, 10 y 12

La población japónica **IDSA-IRAT 1** es la base del proyecto de selección recurrente por resistencia a la piricularia. Se obtuvo seleccionando plantas resistentes en el acervo de genes CNA-IRAT 5 inoculado con la raza de piricularia CI 69. Se escogió esta raza porque es capaz de vencer la resistencia de genes mayores presentes en CNA-IRAT 5. **IDSA-IRAT 8** se derivó de dos ciclos de selección respecto al tipo de grano en la población IDSA-IRAT 1.

La población **IDSA-IRAT 10**, un híbrido indico-japónico, se obtuvo a partir de IDSA-IRAT 8, a la cual se introdujeron 20 líneas indicas y japónicas, a saber: MANA 1, 55-55, Alicombo, BG90-2, Bouake 189, Ceysvoni, TOx 1011-4-1, Abongoua 88, Chokoto, Fossa Man 2, IDSA 11, IRAT 216, IDSA 85, IRAT 247, LAC 23, Khao Dawk Mali 105, Tangara, IRAT 112, IRAT 115 y Moroberekan. El propósito es combinar en esta población la resistencia a la piricularia y al virus RYMV.

Se está desarrollando **IDSA-IRAT 12**, una población indica-japónica que exhibiría resistencia al virus RYMV. El material básico es la población IDSA-IRAT 1, en la cual se introducen las siguientes fuentes de resistencia al RYMV, de tipos indico y japonico: Koto Ouro S5, TOx 3100-37-3-3-2, Super IRAT 216, Dioukeme, Progreso, TOx 3052-46-E2-2-2-4-3, TOx 3058-28-1-1, TOx 3211-14-1-2-1-2, TOx 3226-5-2-2-2, TOx 3233-31-6-2-1-2, TOx 3440-16-3-3-2-2-3, TOx 3440-171-1-1-1-1, TOx 3440-176-1-2-1 y TOx 3553-36-2-2-2.

Mejoramiento de la población IDSA-IRAT 8 respecto a pircularia

Para mejorar esta población se emplean tres estrategias:

- La primera es la inoculación (en bandejas plásticas) de las hojas de las plantas con pircularia; las plantas resistentes se trasplantan luego en el campo. Se cosechan más tarde las semillas que produzcan las plantas androestériles. Cada año se llevan a cabo dos ciclos de selección recurrente.
- La segunda se basa en la selección de plantas fértiles resistentes a la pircularia tanto de la hoja como del cuello de la panícula, en condiciones de campo. Las líneas diseminadoras de la enfermedad son inoculadas con una raza específica de pircularia. Se seleccionan las plantas fértiles resistentes, y sus semillas se mezclan y se siembran para que ocurra la recombinación. Las semillas que se cosechen ahora en las plantas androestériles son la base del próximo ciclo de selección recurrente. Un ciclo requiere dos siembras.
- La tercera estrategia comprende los siguientes pasos: se seleccionan plantas fértiles resistentes; las semillas de éstas se cosechan, se mezclan y se siembran; se cosechan aquí las semillas de las plantas androestériles, se mezclan y se siembran; las plantas fértiles de esta siembra se cosechan, y su semilla será la base del próximo ciclo de selección recurrente. Un ciclo requiere, por tanto, tres siembras.

El proceso de selección aplicado en el proyecto IDESSA/CIRAD-CA se describe a continuación:

- En 1993 se sembraron, empleando bandejas plásticas, las 3000 semillas cosechadas en las plantas androestériles de la población IDSA-IRAT 8. Las plantas obtenidas fueron inoculadas con la raza de pircularia CI 69. Más de 1000 plantas resistentes fueron trasplantadas en el campo, de las cuales se cosecharon individualmente 450, que eran fértiles. En las androestériles se hizo cosecha masal.
- Empleando el tipo de grano como criterio de selección, se escogieron 150 plantas S_1 . Su semilla se sembró en el campo en tres localidades (Bouake, Ferké y Man) y se evaluaron las líneas obtenidas; éstas, por su reacción a la pircularia y por varias características agronómicas, permitieron seleccionar 50 plantas S_1 .
- Sembrando fuera de la época normal de cultivo, se hizo avance de generación con las 150 plantas S_1 evaluadas en 1993. Se obtuvieron 150 familias S_2 que, en 1994, fueron evaluadas de nuevo por su resistencia a la pircularia (la presión del patógeno fue baja en 1993) en dos sitios de Costa de Marfil (Bouake y Man) y en uno de Burkina Faso (Farako-Ba). Las plantas fueron inoculadas con la raza CI 69 en Costa de Marfil. Las 50 familias S_2 más resistentes fueron seleccionadas y recombinadas.

- Con el fin de sacar provecho de la selección en bandejas y de la selección en el campo, las 50 familias S_2 seleccionadas en 1994 fueron recombinadas con las plantas androestériles obtenidas por selección en las bandejas en 1993. Cada familia S_2 fue combinada con tres plantas androestériles de la población, y se obtuvieron así 150 combinaciones. Estos materiales se sembraron en bandejas y se inocularon con la raza CI 69; las plantas más resistentes de las combinaciones más resistentes fueron seleccionadas y trasplantadas en el campo. De estas plantas se eligieron las 150 mejores, según sus características agronómicas y su resistencia a la piricularia, para dar continuidad, con sus semillas, al proceso de selección.

Desarrollo de líneas

En las siembras de 1993 y 1994 se escogieron plantas fértiles que fueron incorporadas al proceso de desarrollo de líneas del proyecto que manejan, en colaboración, IDESSA y CIRAD-CA en Costa de Marfil. No es posible informar aún sobre avances significativos en esta etapa temprana del proceso de mejoramiento.

Ejemplo 4

Selección Recurrente para Arroz de Zonas de Altura Manejada por CIRAD-CA/FOFIFA, Vinaninony y Antsirabe, Madagascar

R. Dechanet y J. Enjalbert

El objetivo de este proyecto es desarrollar y mejorar dos tipos de germoplasma:

- a) germoplasma japonico para condiciones de riego en zonas de altura (1800 m) que tolere temperaturas bajas y sea resistente a *Pseudomonas fuscovaginae*;
- b) germoplasma japonico para secano en tierras altas (1500 m) que sea tolerante a bajas temperaturas y a piricularia.

Desarrollo del acervo de genes MD1

El acervo de genes CNA-IRAT 1/0/2 sirvió como fuente de androesterilidad para desarrollar a **MD1**. Las 13 líneas introducidas (Latsidahy, Latsibavy, Tokambana, Mitsangana, Rojofotsy Vinaninony, IBPGR 115, IBPGR 118, IBPGR 138/2, IBPGR 141/4, AS37, AS40, AS39 y AS92) fueron escogidas después de intensa evaluación del germoplasma y de selección del que mejor se adaptaba a las condiciones locales de riego. Cada línea fue cruzada con plantas androestériles del acervo de genes para producir, después de una fase de retrocruces en que se mezclaron los citoplasmas, las semillas S_0 del acervo de genes MD1.

Mejoramiento del acervo de genes MD1

Los dos criterios básicos de selección son la tolerancia a las temperaturas bajas y la resistencia a *Pseudomonas fuscovaginae*. El trabajo se dificulta porque se han observado grandes variaciones de un año a otro y de un sitio a otro.

Vinaninony fue escogido como sitio principal de evaluación y se usó el método masal para hacer selecciones. En 1993 se seleccionaron 121 plantas S_0 fértiles del acervo de genes MD1/0/3 para iniciar el proceso. En la época siguiente a la siembra principal, esas plantas fueron recombinadas en la Estación Experimental de Mahitsy. Las semillas producidas en las 773 plantas androestériles presentes en el ciclo de recombinación de la población seleccionada en MD1/1/0 se mezclaron en

proporciones iguales, y dieron origen a la población que, seleccionada y recombinada una vez, se denominó MD1/1/1.

Desarrollo de líneas

En los años 1992, 1993 y 1994 se seleccionaron en el acervo de genes MD1/0/3 plantas cuya fertilidad, medida por el número de espiguillas llenas, y cuya resistencia a *P. fuscovaginatae* eran buenas. El primer año, por causas ajenas a los objetivos del programa, la selección se llevó a cabo en el sitio Soanindrariny, donde se escogieron 179 plantas S_0 . En 1993, estos materiales, así como el acervo de genes, fueron sembrados en Vinaninony: de los primeros, 38 líneas S_1 fueron seleccionadas y del segundo (sometido de nuevo a selección) se escogieron 121 plantas S_0 .

En 1994 se sembró el acervo de genes por tercera vez y se seleccionaron de nuevo en él 280 plantas S_0 . De las 38 líneas S_1 se obtuvieron 9 líneas S_2 y de las 121 líneas S_0 se escogieron 30 líneas S_1 . Para continuar el proyecto en 1995, la siembra de estas líneas dará 280 líneas S_1 , 30 S_2 y 9 S_3 , todas derivadas del acervo de genes MD1/0/3.

Desarrollo del acervo de genes MD2

El acervo de genes **MD2** se obtuvo en forma parecida a como se logró el MD1. La población CNA-IRAT 1/0/2 se utilizó como fuente de androesterilidad. Se tomaron 11 líneas adaptadas al sistema de secano (IAC 25, Latsidahy, Latsibavy, FOFIFA 62, FOFIFA 116, Daniela, Shin Ei, Rikuto Norin 15, Guarani, F4 C 58-L10 y Pratão Precoce) y se cruzaron con plantas androestériles del acervo de genes. El resultado, después de hacer retrocruces para mezclar los citoplasma, fueron las semillas S_0 de la población MD2.

Mejoramiento del acervo de genes MD2

Antes de iniciar el proceso de selección en ese germoplasma, se hicieron dos ciclos de recombinación; así se obtuvieron los acervos de genes MD2/0/2 y MD2/0/3. En 1994 se inició el trabajo de mejoramiento con el acervo de genes que había sido sometido a dos ciclos de recombinación; en él se escogieron plantas fértiles S_0 y se cosecharon sus semillas.

Ese mismo año, una parte de esas semillas fue almacenada para futura recombinación y la otra parte se sembró para hacer evaluación de la progenie S_1 . Se seleccionaron pocas líneas S_1 (44) y se decidió por ello repetir la evaluación en parcelas grandes haciendo una nueva selección en esa progenie; las semillas almacenadas se usaron con este fin. Los genotipos que se usarán para desarrollar la población mejorada vendrán de esta nueva selección.

Se observó que los fenotipos de este acervo de genes se asemejaban mucho a los de las plantas de arroz de riego y que se elevaba, además, su susceptibilidad a la piricularia. Se produjo esta modificación, probablemente, porque la recombinación se hizo en condiciones de riego, lo que favoreció mucho la contribución de las plantas más adaptadas a ese sistema.

Para contrarrestar ese cambio, se está ajustando la base genética de ese acervo de genes mediante la introducción de 11 líneas japónicas de secano desarrolladas en el programa tradicional de mejoramiento de líneas para zonas de altura.

Desarrollo de líneas

En 1993 y en 1994 se seleccionaron, en los acervos de genes MD2/0/2 y MD2/0/3, plantas de buenas características agronómicas, de alta fertilidad en las espiguillas y resistentes a la piricularia.

En 1993, en el acervo de genes MD2/0/2 se escogieron 393 plantas S_0 fértiles; su semilla se sembró, en 1994, y dio origen a 44 líneas S_1 . En 1993, y simultáneamente con el trabajo anterior, se escogieron 30 plantas S_0 utilizando un índice de selección basado en los componentes del rendimiento, y se cosecharon 70 plantas al azar en el material restante.

Los materiales mencionados se están usando para desarrollar líneas de este programa que darán origen a variedades tolerantes al frío y resistentes a la piricularia. Esas líneas permiten hacer, además, estudios de correlación genética.

En el acervo de genes MD2/0/3 se seleccionaron 127 plantas S_0 en 1994, que siguen bajo evaluación; de ellas saldrán variedades adaptadas a las condiciones de secano en las tierras altas de Madagascar.

Ejemplo 5

Selección Recurrente del Arroz de Zonas Bajas Caracterizadas por Períodos Alternos de Inundación y Sequía, Manejada por CIRAD-CA/IER, Sikasso, Mali

N. Ahmady y M. Diaby

El objetivo de este proyecto es desarrollar líneas de arroz que toleren la inundación y la sequía y que sean resistentes al virus "Rice Yellow Mottle Virus" (RYMV), para siembras de arroz de riego en los pantanos de África; este ecosistema se caracteriza por los periodos alternos de inundación y sequía.

Desarrollo de acervos de genes y de poblaciones

Acervo de genes africano. El propósito es desarrollar un acervo de genes compuesto por germoplasma africano adaptado a los pantanos de África. Los primeros cruzamientos se hicieron en 1991 y el acervo se considerará completo en 1994.

En el proceso se cruzaron y retrocruzaron nueve líneas africanas (Bentoubala B Mali, Dissi 14, Ebendioula, Fossa Man 1, Gambiaka, Gambiaka Terra, Samba Badi, Siantane Diofor y Sikasso H) con plantas androestériles de los acervos de genes CP 122L y CP 126.

Acervos de genes indico-japónicos. Estos acervos de genes permiten aprovechar la condición complementaria que relaciona los grupos Japónica e Indica. El primero aportaría su resistencia a algunas enfermedades y a la sequía; el segundo, su capacidad de adaptación a las condiciones de riego y su alto potencial de rendimiento de grano.

En 1990 se hicieron los cruces iniciales y en 1992 se obtuvieron SIK.P1.0 y SIK.P2.0. El origen de estos dos acervos de genes es básicamente el mismo: se diferencian en el material utilizado como fuente de androesterilidad.

Para obtener estos acervos de genes se dieron los pasos siguientes: primero, las plantas androestériles de los acervos de genes CP 122L y CP 126 (ambos indicos) fueron polinizadas por plantas fértiles de CNA-IRAT 5/0/2F (japonico); segundo, las semillas resultantes se mezclaron y se formó así el acervo de genes SIK.P1.0. El mismo proceso se repitió pero con plantas androestériles de CNA-IRAT 5/0/2F polinizadas por plantas fértiles de CP 122L y CP 126; el resultado final fue el acervo de genes SIK.P2.0.

Mejoramiento para obtener resistencia al RYMV

Se seleccionaron plantas S_0 fértiles, tolerantes a la inundación y resistentes al RYMV, en los acervos de genes CNA-IRAT 4/0/2F, CP 122L y CP 126. Se escogieron el 24%, el 32% y el 38%, respectivamente, de la descendencia S_1 de cada acervo. Estas selecciones dieron origen, una vez recombinadas, a tres poblaciones mejoradas identificadas como SIK.P3.3, SIK.P4.3 y SIK.P5.3.

Desarrollo de líneas

El objetivo es producir líneas fijas a partir de los acervos de genes y de las poblaciones mejoradas. En total, 296 líneas están en proceso de selección. Su origen es el siguiente: CNA-IRAT 4 (13 líneas), CNA-IRAT 5 (3 líneas), CP 122 (14 líneas), CP 126 (25 líneas), SIK.P3 (81 líneas), SIK.P4 (102 líneas) y SIK.P5 (58 líneas). Estos materiales seguirán bajo evaluación en 1995, con el fin de desarrollar variedades adaptadas al cultivo de arroz de riego en ecosistemas de zonas bajas caracterizadas por periodos alternos de inundación y sequía.

Resultados y Perspectivas

Desde que CIRAD-CA, de Francia, y CNPAF/EMBRAPA, de Brasil, formaron en 1984 los primeros acervos de genes de arroz, se han logrado progresos significativos y se ha adquirido una experiencia valiosa en el manejo del germoplasma y de la selección recurrente de ese cultivo cerealero.

Varios programas nacionales e internacionales de América Latina, de África y de la isla de Madagascar están empleando esta metodología en sus estrategias de mejoramiento como complemento de los métodos tradicionales (pedigrí, masal, retrocruce, etc.). Los resultados preliminares indican que el mejoramiento de acervos de genes y de poblaciones ayuda a resolver problemas que hasta ahora han sido manejados con poco éxito por el mejoramiento tradicional; por ejemplo, el nivel de techo del rendimiento de grano en el germoplasma de arroz de riego o la resistencia a la picularia en el de arroz de secano favorecido.

Capítulo 3

Nomenclatura para el Arroz Mejorado por Selección Recurrente

Introducción

En 1984 se inició un programa de selección recurrente en arroz como parte de un proyecto de investigación colaborativa entre CIRAD-CA (anteriormente IRAT), de Francia, y EMBRAPA/CNPAF, de Brasil. Años después, el CIAT y el IRRI desarrollaron también acervos de genes de arroz para el mejoramiento de poblaciones. Los centros internacionales de investigación agrícola (IARC) y los servicios nacionales de investigación agrícola (SNIA) han utilizado ese nuevo germoplasma en sus programas de mejoramiento, ya sea en forma directa o como fuente de androesterilidad, para desarrollar nuevo germoplasma adaptado a diversas condiciones locales.

Aunque se emplean actualmente en el mejoramiento del arroz varios acervos de genes y diversas poblaciones, no hay para ellos un sistema de nomenclatura que sea claro y uniforme. En consecuencia, el seguimiento de los antecedentes y de los criterios de selección de ese germoplasma, así como la comparación de los resultados de diferentes estudios y estrategias de mejoramiento, se tornan cada vez más difíciles. Se requiere un sistema estándar de nomenclatura a medida que el método de selección recurrente se integre más a los programas de mejoramiento tradicionales y se incremente además el intercambio de germoplasma entre las instituciones.

En este capítulo se propone la *adopción de un sistema de nomenclatura estándar* para uso de los mejoradores y para la creación de un catálogo en que se registre toda la información posible sobre acervos de genes y poblaciones. En este catálogo, cada introducción se describirá en su totalidad, haciendo especial énfasis en su desarrollo, su constitución genética, el estado de su germoplasma, los objetivos y ecosistemas definidos, y las principales características agronómicas. Una de las instituciones que investigan en arroz sería responsable de la coordinación y del mantenimiento del catálogo.

Nomenclaturas Existentes

En primer lugar, hay que definir los conceptos de **acervo de genes** y de **población**. En esta propuesta se entiende por **acervo de genes** (*gene pool*) la base genética específica y única que resulta de las combinaciones de un grupo de genotipos. Estos pueden agruparse en proporciones similares o diferentes mediante cruzamientos, con la ayuda de un gen de esterilidad masculina o sin él. Una **población** es el resultado de aplicar un procedimiento de mejoramiento a esa base genética. Se relaciona principalmente con el mejoramiento de caracteres y con las modificaciones genéticas de los acervos de genes, en los que introduce hasta 50% de alguna nueva variabilidad.

EMBRAPA/CNPAF, CIRAD-CA, IRRI y CIAT han creado acervos de genes y les han dado los siguientes nombres:

- **CNA-IRAT**: los acervos de genes desarrollados en Brasil entre EMBRAPA/CNPAF y CIRAD-CA (anteriormente IRAT).

- **CP**: acervos de genes preparados en IRRI y actualmente utilizados por el CIRAD-CA en Mali, Africa.
- **GC**: el acervo de genes creado por CIAT.

Cada acervo de genes recibió un número, que es un código de identificación (**CP 122**, **GC 91**, **CNA-IRAT 4**). Los fitomejoradores que desarrollaron estos acervos de genes relacionan esos códigos con sus actividades de mejoramiento. Varios ejemplos se discutirán a continuación.

1. En el germoplasma CNA-IRAT, el código institucional estándar y un número dan un acervo de genes, el **CNA-IRAT 4**; después de éste se escriben dos números más, separados por una barra oblicua:
 - el primero corresponde al número de ciclos de selección que se realizaron en el acervo de genes (**CNA-IRAT 4/0**);
 - el segundo es el número de recombinaciones que se hicieron en ese acervo (**CNA-IRAT 4/0/3**).

Así pues, **CNA-IRAT 4/0/3** significa que estamos en el acervo de genes **CNA-IRAT 4**, donde no hubo selección, aunque sí se realizaron tres ciclos de recombinación.

- Unas cuantas poblaciones salieron de este acervo genético siguiendo el mismo esquema de denominación. Un ejemplo es **CNA-IRAT 4/1/3**, recibida por el CIAT en 1993; esta población provenía del acervo de genes **CNA-IRAT 4** después de un ciclo de selección realizado en el tercer ciclo de recombinación.
2. Los acervos de genes CNA-IRAT se formaron utilizando el gen de esterilidad masculina proveniente de IR36; contienen, por tanto, una mezcla de plantas estériles y fértiles. El último número de algunos de estos acervos va seguido de "F", así: **CNA-IRAT 4/0/1F**. Esta codificación indica, por tanto, que el acervo de genes se sometió a un ciclo de recombinación y que el incremento de semilla se hizo en plantas heterocigóticas fértiles (/1F).
 - La misma secuencia de números de código se aplica a los acervos de genes CP en Mali. Un ejemplo es la población **CP 126/1/1F**, que se interpreta así: el acervo de genes **CP 126** fue sometido a un ciclo de selección, y a una recombinación en que el incremento de semilla se hizo en plantas heterocigóticas fértiles.
 3. En el CIAT, las letras representan las iniciales de los científicos que participaron en el desarrollo del acervo de genes, y los números corresponden al año en que se obtuvo la semilla S₀. Así, en 1991 los Drs. Guimarães y Correa-Victoria sintetizaron **GC-91**.
 4. Cuando se emplean los acervos de genes o las poblaciones como fuente de androesterilidad para introducir nueva variabilidad, la identificación del germoplasma resultante puede presentarse de dos maneras diferentes. En la práctica, se cruzan nuevas líneas con plantas androestériles del acervo de genes o de la población, de modo que la contribución genética de aquellas represente, por lo menos, la mitad del nuevo germoplasma. Esas dos variaciones son:

- El nombre del germoplasma original, que es fuente de androesterilidad, se conserva, pero se adiciona una identificación específica. Por ejemplo, **CNA-IRAT 1 MD1** es el primer germoplasma que se ha desarrollado para zonas de altura en Madagascar (MD). Se derivó al introducir 13 líneas localmente adaptadas en el acervo de genes **CNA-IRAT 1**.
 - El nombre del germoplasma original, fuente de androesterilidad, ya no estará presente. La nueva población derivada recibe un nombre diferente. **CNA 1**, por ejemplo, proviene de la introducción de tres líneas en el acervo de genes **CNA-IRAT 4/0/5F** mediante cruzamientos con plantas androestériles.
5. La nomenclatura empleada para identificar los acervos de genes y las poblaciones CNA-IRAT sólo da el número de los ciclos de selección y de recombinación empleados en el proceso de mejoramiento. Se necesitaría más información para hacer una mejor caracterización de ese germoplasma.

Propuesta de Nomenclatura Estándar

Los acervos de genes y las poblaciones, tanto los ya existentes como los nuevos, deben considerarse por separado.

Acervos ya existentes de genes y de poblaciones

Los mejoradores de arroz emplean actualmente un germoplasma cuyos nombres y códigos ya existen y, por tanto, no es conveniente cambiarlos. Se propone entonces mantener el registro de esos nombres y codificaciones en un catálogo central. El germoplasma registrado se podría publicar en *International Rice Research Newsletter* o en *Crop Science* (ver al final de este capítulo).

Acervos nuevos de genes y de poblaciones

El germoplasma nuevo puede ser un acervo de genes verdaderamente nuevo creado por una institución. Puede ser también una población obtenida por introducción de líneas mejoradas en un acervo de genes o en una población que ya existía. Esta nueva entidad puede obtenerse de varias maneras:

a. Nuevos acervos de genes

- Combinando un grupo de genotipos mediante cruzamiento manual, o utilizando genes de esterilidad masculina disponibles en sus bases genéticas originales.
- Introduciendo más de 50% de germoplasma nuevo, haciendo cruces y retrocruces de líneas de arroz con plantas androestériles de un acervo de genes o de una población que ya estén desarrollados.
- Cruzando dos o más acervos de genes o poblaciones.
- Combinando las opciones anteriores u otras posibles.

b. Poblaciones nuevas

- El germoplasma que ha sido mejorado, respecto a uno o varios caracteres definidos, mediante selección recurrente en acervos de genes o poblaciones —tanto de los ya existentes como de los nuevos— constituye un caso específico de población nueva.

- La introducción de, por lo menos, 50% de variabilidad en un acervo de genes da también origen a una población nueva.

En cada caso, la institución que crea, modifica o selecciona acervos de genes o poblaciones los denominará según sus propios criterios y los hará registrar después en un catálogo con información detallada acerca de su constitución genética y de la metodología empleada en su realización. Para fines de intercambio y de publicación, la *nomenclatura del catálogo* será la que oficialmente reconozcan y utilicen los mejoradores.

Sistema de nomenclatura para catálogo de acervos de genes y de poblaciones

Prefijo. Se propone el uso de los prefijos "GP" para los acervos de genes y "P" para las poblaciones (en letras mayúsculas). Las letras siguientes serán las utilizadas por las instituciones para identificar sus cruzamientos (CT para CIAT, IR para IRRI, CNA para EMBRAPA/CNPAF, WAB para WARDA, IRAT para CIRAD-CA, etc.). No se deja espacio entre las letras que componen el prefijo.

Numeración. El prefijo va seguido inmediatamente por un guión y un número, sin espacios. Esta numeración será consecutiva en el catálogo de registro.

El acervo de genes GC-91 del CIAT, por ejemplo, se registra primero en el catálogo y lo siguen acervos de genes o poblaciones de EMBRAPA/CNPAF y WARDA; el nombre oficial del primero será **GPCT-1**. El acervo de genes CNA 1 se registrará entonces como **GPCNA-2** y la población propuesta por WARDA aparecerá como **PWAB-3**. Otro acervo de genes del CIAT que se registre enseguida se llamará **GPCT-4**, y así sucesivamente.

Identificación del status de acervos de genes y de poblaciones

El mejoramiento de acervos de genes y de poblaciones es un proceso continuo de evaluación, selección y recombinación. Por ello, es importante conocer el estado en que actualmente se halla el germoplasma.

Cada institución es libre de denominar, según sus propios criterios, el germoplasma que investiga. Se recomienda, sin embargo, a los fitomejoradores el método de identificación del material de trabajo propuesto en este manual, para que manejen bien las poblaciones o acervos de genes durante el proceso de mejoramiento. Esta identificación es útil cuando haya comunicación e intercambio de información antes de registrar el germoplasma como una nueva población. Las definiciones y ejemplos siguientes esclarecerán esta propuesta:

1. Identificación

- Una identificación completa da el número de ciclos de recombinación del acervo de genes o de la población, tanto antes como después de la selección. Se identifican también, por medio de letras, los caracteres por los cuales se ha seleccionado el germoplasma.
- Los caracteres se representarán, preferiblemente, con los acrónimos del Sistema de Evaluación Estándar de Arroz, desarrollado por el IRRI. Los caracteres seleccionados y los ciclos de recombinación (después y antes de la selección) se separan con una barra oblicua inversa ("\"), distinta de la que normalmente se usa ("/") para identificar cruzamientos.

2. Ejemplos

- En el acervo genético **GC-91**, cuyo nombre de catálogo es **GPCT-1**, se hizo selección una vez respecto al añublo de la hoja o piricularia (blast, en inglés). El CIAT manejaría esas poblaciones como **GPCT-1\BI**.
- Continuando con el ejemplo anterior, los números que sigan indicarán los ciclos de recombinación que se cumplieron después de la selección, y el ciclo de recombinación en que se hizo selección en el acervo de genes original. En la siembra de este semestre, la población de CIAT mejorada por resistencia a la piricularia, **GPCT-1\BI**, se denominaría **GPCT-1\BI\1\2**; es decir, el acervo de genes **GPCT-1** fue seleccionado una vez respecto al añublo de la hoja (BI) en el segundo ciclo de recombinación del acervo (\2) y luego se recombinó una vez (\1).
- El ejemplo hipotético **GPCT-4\0\0\0** indicaría un acervo de genes producido por el CIAT —el cuarto registrado en el catálogo— en el que no han ocurrido ciclos de recombinación o selección (acervo básico). Después de tres recombinaciones de este acervo básico, un mejorador decide trabajar con él y lo convierte en **GPCT-4\NBI\0\3**, que significa lo siguiente: se hizo una selección para añublo del cuello de la panícula (NBI), sin ciclo de recombinación después de la selección (\0), en el tercer ciclo de recombinación (\3) del acervo de genes original. **GPCT-4\NBI\3\3** indica, entonces, que hubo tres ciclos de recombinación después de una selección respecto al añublo del cuello, la cual se hizo en el tercer ciclo de recombinación del acervo de genes original.

3. Ciclos de selección

Generalmente se hace selección respecto a varios caracteres. En tal caso, en el código que identifica el germoplasma deben aparecer los acrónimos de esos caracteres.

- *Para varios caracteres al mismo tiempo.* Por ejemplo, si una población se mejora respecto al añublo de la hoja (blast, en inglés) y a la mancha parda (brown spot, en inglés) al mismo tiempo, su identificación sería ésta: **GPCT-4\BI,BS\2\4**.
- *Selección consecutiva de varios caracteres.* Si un germoplasma ha sido mejorado respecto a un carácter en una época y después respecto a otro, su identificación sería **GPCT-4\BI\3\4,BS\0**; los acrónimos de cada carácter están separados, indicando que el mejoramiento se hizo en diferentes épocas.
- *Selección repetida para el mismo carácter.* Cuando se hacen varias selecciones respecto al mismo carácter, se recomienda identificar ese germoplasma como se indica en el siguiente ejemplo. Tomemos un acervo de genes de CNA en que se habían hecho cuatro recombinaciones (**GPCNA-4\0\0\4**); fue sometido una vez a selección respecto al añublo del cuello (neck blast, en inglés) y recombinado dos veces (**GPCNA-4\NBI\2\4**). En la siguiente época de cultivo se seleccionó respecto al mismo carácter y luego se recombinó cinco veces. La identificación final de ese acervo será, entonces: **GPCNA-4\NBI\2\4,NBI\5**.

4. Registro en el catálogo

Cuando el germoplasma ha recibido suficiente mejoramiento respecto al carácter (o los caracteres) que interesan en el proceso de selección, el fitomejorador puede registrarlo siguiendo las mismas normas que rigen la inclusión de un nuevo germoplasma en el catálogo. Así, por ejemplo, **GPCT-4\NBI\3\4** —una población mejorada derivada del acervo de genes **GPCT-4** por selección respecto al añublo de la hoja— se convierte en **PCT-10**, según la nomenclatura más sencilla del catálogo; el 10 es el número de registro.

Una vez aprendido el uso de este sistema de identificación, se tendrá acceso a toda la información disponible sobre el mejoramiento de determinado germoplasma.

Selección de Líneas Elite

Hay dos métodos de extracción de líneas elite: uno, mediante acervos de genes o de poblaciones mejorados; otro, mediante ciclos de selección y recombinación hechos durante el proceso de mejoramiento del germoplasma. La nomenclatura se basa aquí en la propuesta de WARDA para el desarrollo tradicional de líneas; esta propuesta fue aceptada por los participantes en el Primer Taller Internacional de Mejoradores de Arroz de Secano (CIRAD-CA, Montpellier, Francia, 6-10 de septiembre, 1993).

Acervos mejorados de genes o de poblaciones

La nomenclatura de las líneas elite seleccionadas de acervos genéticos o poblaciones debe indicar el germoplasma que se utilizó para desarrollar la línea y la institución o instituciones que participaron en el proceso. Se propone el uso del símbolo ">" para establecer una separación entre el nombre de la población o del acervo genético y el pedigrí asignado. A continuación se presentan tres ejemplos:

- **GPWAB-3>78-4-3-2-1**

Es una línea elite extraída por WARDA (después de hacer selección durante cinco generaciones) de un acervo de genes registrado por ellos mismos.

- **PCT-5>WAB-4-3-2-1**

Es una línea elite extraída por WARDA de una población desarrollada y registrada por CIAT.

- **PIR-7>23-1-WAB-3-4-CNA-4-B**

La población PIR-7 fue producida y registrada por IRRI; en ella, el mismo IRRI seleccionó una línea elite durante dos generaciones. WARDA recibió la línea **PIR-7>23-1** e hizo selección en ella durante otras dos generaciones. Finalmente, la línea **PIR-7>23-1-WAB-3-4** se envió a EMBRAPA/CNPAF, donde fue sometida a selección durante una generación más; en la generación siguiente se hizo cosecha masal (B, por bulk) de las semillas.

Ciclos diversos de selección y recombinación (material de trabajo)

El ejemplo que se presenta a continuación ilustra la aplicación de la nomenclatura propuesta a este método de extracción de líneas elite:

- **PWAB-7\GQ\2\3>79-7-4-2**

Una población WARDA, **PWAB-71**, se encuentra en proceso de selección para mejorar la calidad del grano (GQ, por grain quality). La institución selecciona

una línea elite durante cuatro generaciones en el tercer ciclo de recombinación (\3) de la población original PWAB-7, la cual había sido seleccionada una vez por calidad del grano (GQ) y luego recombinada dos veces (\2).

Consideraciones Adicionales

Intercambio y conservación de semilla

- Cada institución tendrá semilla de los acervos de genes o de las poblaciones que haya registrado (semilla para fitomejoradores), y esta semilla estará disponible para intercambio.
- Cuando se responda a una solicitud de semilla, la respuesta debe incluir la información contenida en el catálogo.
- Cuando se envíe una solicitud de registro a la institución responsable del catálogo, hay que acompañarla, como mínimo, de 2000 semillas.
- Cada institución será responsable del mantenimiento y de la conservación, a mediano plazo, de sus acervos de genes y de sus poblaciones, y debe enviar una muestra de ellos al IRRI para que el instituto la conserve durante periodos largos.
- Cada institución debe comunicar con anticipación a los usuarios potenciales y a la institución responsable del catálogo su intención de desechar un germoplasma que ya no esté en uso; hecho esto, enviará la semilla restante al IRRI para su conservación.

Selección recurrente: informe de actividades

Cada institución que emplee el método de mejoramiento por selección recurrente debería informar detalladamente cada año sobre las actividades que realice a un coordinador central, a quien corresponde preparar un informe global sobre el uso dado a los acervos de genes y a las poblaciones de arroz. Este informe se enviará a los participantes de este sistema institucional de información e intercambio que aparezcan en el archivo del coordinador.

Ejemplo de Registro de una Población

Dos investigadores registraron una población de arroz en el *International Rice Research Newsletter*, 14:3, junio de 1989; este boletín científico es publicado por el IRRI en Filipinas. El siguiente texto es la traducción al español de ese registro:

Población de arroz de secano CNA-IRAT 5

J. Taillebois y E. P. Guimarães. Coordinador de Arroz, EMBRAPA/CNPAF (Centro Nacional de Pesquisa - Arroz, Feijão), C.P. 179, 74000 Goiânia, Goiás, Brasil.

Con el fin de desarrollar una población segregante para un programa de selección recurrente por resistencia a la sequía y a la piricularia, el CNPAF de EMBRAPA y el Institut de recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières (IRAT) de Francia emplearon 27 variedades de arroz de secano y un gen recesivo monogénico de androesterilidad que obtuvieron por mutación de IR36 los investigadores R. J. Singh y H. Ikehashi.

Veintiséis variedades se cruzaron y se retrocruzaron con plantas F_2 androestériles de Palawan/IR36 (Msms). Estos cruzamientos dieron origen a una población policitoplasmática. Las semillas F_2 de cada retrocruzamiento fueron mezcladas en diferentes proporciones para garantizar así una tasa diferente de cada componente (ver el cuadro). Esas semillas constituyeron la población inicial CNA-IRAT-5/0/0.

Componentes de la población de arroz de secano CNA-IRAT 5.

Variedad	Filiación	Proporción (%)
IR36 (msms)	Mutante de IR36	12.50
Palawan*	Germoplasma de Asia	12.50
Cuiabana*	IAC 47/SR2041-50-1	8.10
IRAT 237*	IAC 25/RS25	6.73
Beira Campo	Germoplasma de Brasil	5.39
CNA 4097	63-83/IAC 25	5.39
CNA 4145	IAC 47/Kinandong Patong	5.39
Cabaçu (IRAT 177)	Mutante de 63-83	5.39
IREM 41-1-1-4	Mutante de Makouta	5.39
Palha Murcha	Germoplasma de Brasil	5.39
TOx 1011-4-2	IRAT 13/DP689//TOx 490-1	5.39
CNA 5171	IAC 47/IRAT 13	2.69
IAC 165*	Dourado Precoce/IAC 1246	2.69
IREM 247*	Mutante de IAC 25	2.50
IAPAR 9*	Batatais/IAC F 3-7	1.57
IRAT 112*	Dourado Precoce/IRAT 13	1.47
CNA 4135*	IAC 47/63-83	1.36
IREM 238*	PJ110/IAC 25	1.35
Arroz de Campo*	Germoplasma de Brasil	1.25
CA 435*	Germoplasma de Africa	0.84
Casca Branca	Germoplasma de Brasil	0.84
CNA 5179	IAC 47/IRAT 13	0.84
CNA 770187	Germoplasma de Brasil	0.84
Comum Crioulo	Germoplasma de Brasil	0.84
Jaguari	Germoplasma de Brasil	0.84
L-13		0.84
L-81-24	IAC 2091/Jaguari/IRAT 110	0.84
Santa América	Germoplasma de Brasil	0.84

* Contribuyen a la formación del citoplasma de la población.

El texto original, en inglés, de este registro es el siguiente:

CNA-IRAT 5 upland rice population

J. Taillebois and E.P. Guimarães. Coordenador Arroz, EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa - Arroz, Feijão (CNPAP). C.P. 179, 74000 Goiânia, Goiás, Brazil.

To develop a segregating population for a recurrent selection program for drought and field blast resistance, CNPAF and Institut de recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières (IRAT) used 27 upland varieties and a monogenic recessive male sterile gene obtained by mutation on IR 36 by R.J. Singh and H. Ikehashi.

We crossed and backcrossed 26 varieties to male-sterile F_2 plants of Palawan/IR 36 (Msm). The crosses were made to obtain a polycitoplasmic population. F_2 seeds of each backcross were bulked in different proportions to ensure a different rate of each component (see following table). The bulked seeds were considered the initial population CNA-IRAT-5/0/0.

CNA-IRAT 5 upland rice population.

Variety	Parentage	Proportion rate (%)
IR36 (msms)	Mutant of IR36	12.50
Palawan*	Asia germplasm	12.50
Cuiabana*	IAC 47/SR2041-50-1	8.10
IRAT 237*	IAC 25/RS25	6.73
Beira Campo	Brazilian germplasm	5.39
CNA 4097	63-83/IAC 25	5.39
CNA 4145	IAC 47/Kinandang Patong	5.39
Cabaçu (IRAT 177)	Mutant of 63-83	5.39
IREM 41-1-1-4	Mutant of Makouta	5.39
Palha Murcha	Brazilian germplasm	5.39
TOx 1011-4-2	IRAT 13/DP689//TOx 490-1	5.39
CNA 5171	IAC 47/IRAT 13	2.69
IAC 165*	Dourado Precoce/IAC 1246	2.69
IREM 247*	Mutant of IAC 25	2.50
IAPAR 9*	Batatais/IAC F 3-7	1.57
IRAT 112*	Dourado Precoce/IRAT 13	1.47
CNA 4135*	IAC 47/63-83	1.36
IREM 238*	PJ110/IAC 25	1.35
Arroz de Campo*	Brazilian germplasm	1.25
CA 435*	African germplasm	0.84
Casca Branca	Brazilian germplasm	0.84
CNA 5179	IAC 47/IRAT 13	0.84
CNA 770187	Brazilian germplasm	0.84
Comum Crioulo	Brazilian germplasm	0.84
Jaguari	Brazilian germplasm	0.84
L-13		0.84
L-81-24	IAC 2091/Jaguari/IRAT 110	0.84
Santa America	Brazilian germplasm	0.84

* Cytoplasm used to form the population.

Referencias

- CIRAD-CA (Centre International pour la Recherche Agricole et le Développement). 1993. Proceedings of the First International Upland Rice Breeders Workshop, septiembre 1993, Montpellier, Francia. Memorias.
- IRRI (International Rice Research Institute). 1988. Standard evaluation system of rice. 3a. ed. Los Baños, Filipinas. 54 p.
- Taillebois, J. y Guimarães, E. P. 1989. CNA-IRAT 5 upland rice population. IRRN 14:3.
- West Africa Rice Development Association (WARDA). s.f. WARDA's varietal nomenclature system. 4 p. (Mimeografiado.)

Cálculo de la frecuencia de plantas androestériles en una población que segrega respecto al gen *ms*

65

a. Plantas androestériles X Plantas fértiles

msms

MsMs

(71.4%)

polen: *ms* = 100.0%

polen: *Ms* = 35.7%
Ms = 35.7%

b. Plantas androestériles X Plantas fértiles

msms

Msms

(28.6%)

polen: *ms* = 100.0%

polen: *Ms* = 14.3%
ms = **14.3%**

Solamente el polen *ms* de las plantas fértiles *Msms* producirá (en las plantas androestériles) 14.3% de semillas de genotipo *msms*. El polen *Ms* de las plantas fértiles, tanto homocigóticas (*MsMs*, 71.4%) como heterocigóticas (*Msms*, 14.3%), producirá en las plantas androestériles 83.7% de semillas de genotipo *Msms*.

Apéndice B

Cálculo de la frecuencia de plantas androestériles en una población que segrega respecto al gen *ms*

Selección de androestériles, evaluación de su descendencia sin aislamiento, y recombinación partiendo de las fértiles

1. *Población:*

Plantas androestériles	Plantas fértiles
<i>msms</i>	<i>Msms</i>
Selección de plantas estériles y cosecha de su semilla:	
<i>Msms</i> (1/2)	<i>msms</i> (1/2)

2. *Evaluación:* se evalúa la descendencia de cada planta estéril seleccionada.

3. *Autofecundación:*

Selección de plantas fértiles de las mejores líneas; las plantas se autofecundan:

<i>Msms</i>	X	<i>Msms</i>	
	↓		
	<i>F₁</i>	---->	<i>MsMs</i> <i>Msms</i> <i>msms</i> (1/4) (1/2) (1/4)

Se mezcla la semilla de las plantas fértiles y se siembra.

4. *Recombinación:*

<i>MsMs</i> (1/4)	----->	polen: <i>Ms</i> (1/4) = 25.0%
<i>Msms</i> (1/2)	----->	polen: <i>Ms</i> (1/4) = 25.0%
	----->	<i>ms</i> (1/4) = 25.0%

Las plantas androestériles (*msms*) no contribuyen a la producción de polen fértil. Por tanto, solamente el 75.0% de las plantas provenientes de la autofecundación (50% *Msms* y 25% *MsMs*) producirán polen capaz de fecundar las plantas androestériles. En esta nueva población (100%) de plantas fértiles, la proporción de polen *Ms* producido por las de genotipo *MsMs* cambia a 33.3% (25% + 75%); la del polen *Ms* y la del polen *ms*, producidos ambos por las plantas de genotipo *Msms*, adquiere el mismo valor (25% + 75%):

<i>MsMs</i> (1/4)	----->	polen: <i>Ms</i> = 33.3%
<i>Msms</i> (1/2)	----->	polen: <i>Ms</i> = 33.3%
	----->	<i>ms</i> = 33.3%

Solamente este polen *ms* producirá —en las plantas androestériles que fecunde— semillas de genotipo *msms*, que darán plantas androestériles. Estas representan, por consiguiente, el 33.3% de la población de plantas recombinadas.

El polen *Ms* proveniente de las plantas fértiles *MsMs* (33.3%) y *Msms* (33.3%) producirá —en las plantas androestériles que fecunde— semillas fértiles que darán plantas fértiles. Estas representan, por tanto, el 66.6% de la población de plantas recombinadas.

Apéndice C

Método ideal de mezclar semillas de progenies seleccionadas que segregan según el gen *ms* de androesterilidad

1. Las progenies (o descendencias) A, B, C y D se siembran aisladas una de otra por surcos de maíz o de variedades altas de arroz:

Aislamiento

A1

---**msms***---Msms---msms---Msms---Msms---Msms---

Progenie A

---Msms---Msms---**msms***---Msms---msms---Msms---

A2

Aislamiento

B1

---**msms***---Msms---msms---Msms---Msms---Msms---

Progenie B

---Msms---Msms---Msms---Msms---**msms***---Msms---

B2

Aislamiento

---msms---Msms---msms---Msms---Msms---Msms---

*Progenie C
(descartada)*

---Msms---Msms---Msms---Msms---msms---Msms---

Aislamiento

---Msms---Msms---msms---Msms---msms---Msms---

Progenie D

---Msms---**msms***---Msms---Msms---**msms***---Msms---

D1

D2

Aislamiento

* A1, A2, B1, etc., son las plantas seleccionadas dentro de cada progenie o descendencia.

2. Número de *semillas producidas* en cada planta seleccionada:

A1 = 55;

B1 = 80;

D1 = 25

A2 = 50;

B2 = 30;

D2 = 35

3. Mezcla de semilla en *cada* progenie:

- a. *Mezcla equilibrada.* En cada progenie, se toma un mismo número de semillas de cada planta seleccionada; en el ejemplo se toma toda la producción de las plantas con menor número de semillas (50, 30 y 25):

progenie A = 100 semillas (50 A1 y 50 A2)
 progenie B = 60 semillas (30 B1 y 30 B2)
 progenie D = 50 semillas (25 D1 y 25 D2)

- b. *Mezcla no equilibrada.* En cada progenie, se toma un número diferente de semillas de cada planta seleccionada, según el criterio del mejorador:

progenie A = 50 semillas (20 A1 y 30 A2)
 progenie B = 90 semillas (60 B1 y 30 B2)
 progenie D = 60 semillas (25 D1 y 35 D2)

4. Mezcla de semilla de *todas* las progenies:

- a. *Mezcla final equilibrada.* Se toma el mismo número de semillas, por progenie, de la mezcla equilibrada anterior (3. a.); en el ejemplo se parte de la progenie que reunió el menor número de semillas (progenie D, 50):

progenie A: 50 semillas
 progenie B: 50 semillas
 progenie D: 50 semillas

Total: 150 semillas

- b. *Mezcla final no equilibrada.* Se toma un número diferente de semillas, por progenie, de la mezcla hecha antes en cada progenie (3., a. ó b.), según el criterio del mejorador:

progenie A: 45 semillas
 progenie B: 85 semillas
 progenie D: 45 semillas

Total: 175 semillas

Publicación CIAT No. 246
Programa de Arroz y
Unidad de Comunicaciones

Edición:	Francisco Motta (editor) Gladys Rodríguez (asistente editorial)
Producción:	Unidad de Artes Gráficas, CIAT Alcira Arias (composición de textos) Julio César Martínez (diseño de carátula)
Impresión:	Unidad de Artes Gráficas, CIAT
