



# Mejoramiento de Arroz

J. R. Johnson, W. R. Coffman y H. E. Kautzman

Centro Internacional de Agricultura Tropical

El CIAT es una institución sin ánimo de lucro, dedicada al desarrollo agrícola y económico de las zonas tropicales bajas. Su sede principal se encuentra en un terreno de 522 hectáreas, cercano a Cali. Dicho terreno es propiedad del gobierno colombiano el cual, en su calidad de anfitrión, brinda apoyo a las actividades del CIAT. Este dispone igualmente de dos subestaciones propiedad de la Fundación para la Educación Superior (FES): Quilichao, con una extensión de 184 hectáreas, y Popayán, con 73 hectáreas, ambas en Cauca. Junto con el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el CIAT administra el Centro de Investigaciones Agropecuarias Carimagua, de 22,000 hectáreas, en los Llanos Orientales y colabora con el mismo ICA en varias de sus estaciones experimentales en Colombia, así como con instituciones agrícolas nacionales en otros países de América Latina. Varios miembros del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR) financian los programas del CIAT. Durante 1981 tales donantes son: la Fundación Rockefeller, la Fundación Ford, el Banco Internacional para Reconstrucción y Fomento (BIRF) por intermedio de la Asociación Internacional de Desarrollo (IDA), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Comunidad Económica Europea (CEE), el Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola (IFAD), el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), y las agencias de cooperación internacional de los gobiernos de Australia, Bélgica, Canadá, España, Estados Unidos, Holanda, Japón, México, Noruega, el Reino Unido, la República Federal de Alemania y Suiza. Además, varios proyectos especiales son financiados por algunas de tales entidades y por la Fundación Kellogg y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

La información y las conclusiones contenidas en esta publicación no reflejan necesariamente la posición de ninguna de las instituciones, fundaciones o gobiernos mencionados.

PN-AAM-099

1981 15/23

ISBN 89206-06-6  
Serie CIAT No. 09SR-3

# Mejoramiento de Arroz

P.R. Jennings, W.R. Coffman y H.E. Kauffman



Centro Internacional de Agricultura Tropical

*Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT*  
*Apartado 6713*  
*Cali, Colombia*

*ISBN 89206-06-6*  
*Serie CIAT No. 09SR-3*  
*Junio 1981*

*Cita correcta:*

*Jennings, P.R., Coffman, W.R. y Kauffman, H.E. Mejoramiento de Arroz. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, 1981. 233 p.*

**Oryza sativa/ Arroz/ Fitomejoramiento/ Genética/ Selección/ Selección masal/ Retrocruzamiento/ Pedigrí/ Características agronómicas/ Anatomía de la planta/ Calidad de grano/ Contenido de almidón/ Contenido de proteína/ Aroma/ Cocción/ Pruebas de evaluación/ Resistencia/ Enfermedades y patógenos/ *Rhynchosporium oryzae/ Pyricularia oryzae/ Rhizoctonia solani/ Xanthomonas oryzae/ Virus del enanismo/ Hoja blanca/ Plagas/ Insectos perjudiciales/ Nephrotettix virescens/ Nilaparvata lugens/ Sogatodes oryzicola/ Sogatella furcifera/ Orseolia oryzae/ Chilo suppressalis/ Tryporyza incertulas/ Factores edáficos desfavorables/ Salinidad/ Alcalinidad/ Deficiencias minerales/ Zn/ P/ Factores climáticos desfavorables/ Sequía/ Temperatura.***

*Tiraje: 1300 ejemplares*

*Traducción de Rice Improvement por P.R. Jennings, W.R. Coffman y H.E. Kauffman, publicado por el International Rice Research Institute, IRRI, Los Baños Filipinas, 1979.*

# Contenido

	Pág.
<b>CAPITULO 1</b>	
<b>Filosofía del Mejoramiento Genético</b>	<b>1</b>
La necesidad de un enfoque interdisciplinario	4
El agricultor como integrante de un equipo	5
Criterios de selección	7
Ayudas para el mejoramiento del arroz	10
El desafío	11
<b>CAPITULO 2</b>	
<b>Sistemas de Mejoramiento Genético</b>	<b>13</b>
Competencia y sistemas de fitomejoramiento	13
Mejoramiento masal	16
Mejoramiento por retrocruzamiento	18
Mejoramiento genealógico o por pedigrí	21
<b>CAPITULO 3</b>	
<b>Procedimientos Operacionales</b>	<b>23</b>
Organización del programa	23
Campos permanentes	23
Semilla caída	26
Métodos de siembra	27
Manejo de la parcela	35
Cruzamientos	38
Tipos de cruzamientos	38
Procedimientos	39
Mantenimiento de progenitores	40
Emasculación	42
Polinización	50
Preparación de las etiquetas de cruzamiento	55
Numeración de cruzamientos	58
Designación de cruzamientos	58
Libro o historia de cruces	60
Número de cruzamientos	61
Cultivo y manejo de la F <sub>1</sub>	63
La población	66
Viveros masales	70
Viveros pedigrí	71
Ensayos de rendimiento	82
Pruebas internacionales	91
Semilla genética	91
Descripción varietal	93
<b>CAPITULO 4</b>	
<b>Establecimiento de los Objetivos de Mejoramiento Genético</b>	<b>95</b>
<b>CAPITULO 5</b>	
<b>Mejoramiento Genético de Características Agronómicas y Morfológicas</b>	<b>99</b>
Altura, resistencia al volcamiento y respuesta al nitrógeno	99
Habilidad de elongación	102
Vigor vegetativo	103
Habilidad de macollamiento	104
Características foliares	106
Caracteres de la panícula	110
Duración del periodo de llenado del grano	113

Peso del grano	113
Fertilidad de las espiguillas	114
Maduración y sensibilidad fotoperiódica	117
Pigmentación	121
Aristas	121
Desgrane	122
Latencia del grano	124
<b>CAPITULO 6</b>	
<b>Calidad del grano</b>	127
Apariencia del endosperma	127
Longitud, forma y calidad de molinería del grano	129
Contenido de amilosa	133
Pruebas de consistencia de gel	139
Temperatura de gelatinización	141
Contenido de proteína	148
Aroma	151
<b>CAPITULO 7</b>	
<b>Mejoramiento Genético de la Resistencia a Plagas</b>	153
Enfoque interdisciplinario de la resistencia a plagas	155
Resistencia estable	156
Procedimientos de evaluación	160
Integración de las técnicas de evaluación y mejoramiento	163
Piricularia	169
Añublo de la vaina	175
Añublo bacterial	177
Virus tungro	185
Virus enanismo	190
Hoja blanca	193
Otras enfermedades	194
Evaluación para la resistencia a saltahojas y chupadores	196
Saltahojas café	200
Saltahojas verde	203
Chupador de dorso blanco	203
Insectos sogata	204
Barrenadores del tallo	206
Mosca agalla	208
Otros insectos	212
<b>CAPITULO 8</b>	
<b>Tolerancia a Condiciones Edáficas Desfavorables</b>	213
Salinidad y alcalinidad	215
Toxicidad de hierro	221
Suelos sulfato-ácidos	22
Deficiencia de zinc	223
Deficiencia de fósforo	223
<b>CAPITULO 9</b>	
<b>Adaptabilidad a Condiciones de Secano</b>	225
Resistencia a la sequía	229
Técnicas de selección por resistencia a la sequía	230
Germoplasma resistente a la sequía	231
<b>CAPITULO 10</b>	
<b>Tolerancia a la Temperatura</b>	233
Temperatura baja	233
Temperatura alta	236

# Prólogo

La revolución verde se inició en los trópicos en los años 60 mediante el desarrollo de variedades de arroz de alto rendimiento, resistentes al volcamiento, que respondían a los fertilizantes. Estas nuevas entidades biológicas se convirtieron en el punto focal de las nuevas tecnologías de producción que ahora suministran a los agricultores, en las regiones tropicales, potenciales de rendimiento y producción iguales a los de sus contrapartes en las zonas templadas.

La primera de las nuevas variedades promovió el interés por el mejoramiento genético como un medio para mejorar el arroz, e incluso de fomentar todo el desarrollo agrícola. Simultáneamente, las primeras variedades señalan la necesidad de una investigación interdisciplinaria para desarrollar arroces mejorados. El éxito de los nuevos cultivares dependía de su resistencia a enfermedades e insectos, tolerancia a las condiciones edáficas y climáticas adversas, y de que su calidad de grano satisficiera los gustos locales. En cada caso, los fitomejoradores aunaron su esfuerzos a los de los científicos de otras disciplinas para incorporar genéticamente las características deseadas en las nuevas variedades.

A comienzos de los años 60, tan sólo había unos pocos científicos bien preparados dedicados al mejoramiento del arroz en los trópicos. El inadecuado respaldo financiero y la escasa colaboración de científicos de otras disciplinas limitaron sus esfuerzos. El surgimiento de los arroces modernos cambió esta situación. Hoy en día un número creciente de fitomejoradores jóvenes trabaja en los programas de mejoramiento de arroz en los trópicos. Ellos desean colaborar con científicos de otras disciplinas, no únicamente en sus propios países sino también internacionalmente, y encontrar información que les ayude a alcanzar sus metas. Un objetivo primordial de este libro es suministrar tal información.

Los autores de *Mejoramiento del Arroz* han escrito un excelente manual práctico para los científicos que deseen consultar cada fase del desarrollo de variedades mejoradas de arroz. Este libro no es un ejercicio académico con referencias y citas bibliográficas, sino que se basa en alto grado en la experiencia práctica de los autores y sus colaboradores en muchos países tropicales.

Como el título lo indica, el *Mejoramiento del Arroz* es más amplio que el mejoramiento genético. Sin la ayuda de los fitopatólogos, entomólogos, agrónomos y científicos de otras disciplinas, los fitomejoradores de arroz no pueden desarrollar el amplio rango de variedades mejoradas que necesitan cientos de millones de pequeños cultivadores en Asia, África y América Latina; de aquí que los autores hayan seguido este concepto interdisciplinario al escribir este libro.

Los primeros capítulos resaltan la filosofía básica del mejoramiento del arroz orientado a la solución de problemas, métodos específicos de fitomejoramiento, y procedimientos operacionales de campo tales como la preparación de la tierra, sistemas de siembra, e implantación de ensayos de rendimiento. No obstante, la mayor parte del libro está orientada a las metodologías del mejoramiento genético, incluyendo descripciones detalladas sobre como seleccionar, cruzar y evaluar variedades por sus características agronómicas y del grano más importantes, por su resistencia a enfermedades e insectos específicos, y por su tolerancia a condiciones ambientales desfavorables tales como sequía, suelos inadecuados y temperaturas extremas.

Los autores han aportado su vasta experiencia tanto en el mejoramiento de arroz como en el desarrollo agrícola internacional.

El Dr. Peter Jennings, autor principal, ha trabajado en el mejoramiento de arroz con la Fundación Rockefeller por más de 20 años. Después de trabajar en los programas agrícolas de Colombia y México, el Dr. Jennings fué trasladado al International Rice Research Institute (IRRI) en 1961, donde dirigió el departamento de fitomejoramiento hasta 1967. En los siete años siguientes fué director del programa de mejoramiento de arroz del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), en Colombia. Luego residió en Costa Rica en calidad de coordinador regional de Arroz del CIAT para América Central y El Caribe. En 1980 regresó a la sede del CIAT en Colombia y se reincorporó al Programa de Arroz como fitomejorador.

El Dr. W. R. Coffman, fitomejorador del IRRI, llegó a este instituto en 1971 después de trabajar con avena, trigo, y cebada en los Estados Unidos,

y con trigo, en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en México. Es el presidente del Comité de Operaciones del Programa de Evaluación y Utilización Genética (GEU) del IRRI y el coordinador del Programa de Adiestramiento del GEU.

El Dr. Harold E. Kauffman, fitopatólogo del IRRI, es coordinador adjunto del Programa Internacional de Pruebas de Arroz (IRTP), una red mundial por medio de la cual los científicos de las diferentes disciplinas evalúan sistemáticamente los viveros uniformes de variedades mejoradas a fin de seleccionar o desarrollar variedades para las diversas condiciones agroclimáticas. Después de trabajar en la rama de desarrollo agrícola en Haití, el Dr. Kauffman se vinculó al Proyecto Coordinador de Mejoramiento de Arroz de la India, en Hyderabad, India, en 1967, de donde pasó al IRRI en 1972. Ha contribuido de manera decisiva al desarrollo de técnicas eficientes de evaluación de resistencia a las enfermedades bacterianas del arroz. Siempre ha trabajado estrechamente con los fitomejoradores a lo largo de su carrera.

El International Rice Research Institute agradece a los autores su valiosa contribución y a la Fundación Rockefeller su donación para financiar la versión inglesa de esta publicación.

**N.C. BRADY**  
Director General  
International Rice Research Institute

*Los autores agradecen al Dr. Manuel Rosero su traducción del original en inglés y adaptación del contenido a la situación latinoamericana.*

## CAPITULO I

# Filosofía del Mejoramiento Genético

El desarrollo de variedades más productivas para utilizarlas a nivel de finca es el objetivo primordial de los fitomejoradores y lo que justifica su labor ante la sociedad. Todo lo demás es secundario o respalda este objetivo. El éxito de un científico en desarrollar variedades mejoradas de arroz es directamente proporcional a su habilidad para identificar acertadamente las prioridades de investigación y para orientar correctamente sus metas y actividades.

Paradójicamente, el hecho de que el científico en los trópicos generalmente es responsable ante administradores que recibieron entrenamiento de posgrado en países templados y tecnológicamente avanzados, constituye una cortapisa a su labor. Antes de que el científico pueda trabajar sin impedimentos para el logro de sus objetivos, a menudo debe convencer primero a sus superiores para que adapten su educación avanzada a las realidades y necesidades de los programas de investigación tropical.

El número y la calidad de sus publicaciones y la presentación de los resultados de sus investigaciones a científicos colegas en sociedades profesionales son requisitos fundamentales para que los profesionales egresados de las facultades universitarias en las naciones occidentales asciendan en rango y ganen prestigio. Los alumnos extranjeros que estudian en naciones altamente desarrolladas frecuentemente adoptan las mismas normas. Pero cuando completan su estudio de posgrado y regresan a trabajar en programas tropicales de mejoramiento de arroz, dichos estudiantes deben tener presente que el único criterio realista del éxito profesional es el grado en el cual ayuden a incrementar los rendimientos nacionales del arroz. Los productores y consumidores de arroz en todo el mundo se beneficiarían si todos los especialistas en arroz insistieran en ser

## 2 Mejoramiento de Arroz

juzgados por este criterio en lugar de por el número de publicaciones e informes preparados, y su asistencia a conferencias.

El adiestramiento académico en áreas templadas puede llevar a formarse un enfoque inapropiado del fitomejoramiento del arroz en los trópicos. Como sólo se efectúa una cosecha por año, la cantidad de instrucción que los fitomejoradores neófitos reciben en genética cuantitativa, citogenética y estadística en los cursos de posgrado está estrechamente correlacionada con la severidad y duración del invierno cuando el trabajo de campo es imposible. Por lo tanto, el adiestramiento de posgrado es con frecuencia un ejercicio de genética teórica y aplicada, alternado con conocimientos poco profundos de fitopatología y otros temas. La investigación para la tesis de los estudiantes extranjeros de fitomejoramiento usualmente comprende la herencia de una característica en un cultivo diferente al arroz. La situación es similar para estudiantes de posgrado en patología, entomología y otras disciplinas esenciales para el mejoramiento del arroz.

Las universidades de las naciones altamente desarrolladas generalmente organizan la instrucción e investigación de posgrado con base en materias específicas. Los diferentes departamentos tienen un contacto limitado entre sí. Rara vez los investigadores de varias disciplinas cooperan en equipos organizados para afrontar los problemas que restringen la producción de alimentos. Aunque los fondos totales para instrucción e investigación en las universidades son enormes, los programas individuales de mejoramiento reciben asignaciones pequeñas. La impresionante productividad de la investigación agrícola en regiones templadas es la suma de numerosos avances pequeños logrados por muchos programas universitarios. En esta situación, el fracaso de un programa individual no tiene mayores consecuencias.

Sin embargo, el mejoramiento del arroz en los trópicos, donde el arroz se puede cultivar durante todo el año y los rendimientos de las fincas son bajos, no encaja en el patrón de la región templada occidental. Las ramas avanzadas de la genética y la estadística no son las herramientas esenciales para atacar los problemas interdisciplinarios del mejoramiento genético relacionados con anomalías del suelo, enfermedades, insectos, condiciones agronómicas, deficiencias de riego, tamaño de la finca y mecanización. Los fondos para investigación son escasos y unos pocos programas deben cubrir áreas muy extensas. El fracaso o el estancamiento de un programa constituye una catástrofe para las masas populares locales para quienes el arroz significa alimento.

Las instalaciones inadecuadas, los salarios profesionales y, en algunas regiones, la mano de obra, han sido los principales impedimentos institucionales para mejorar exitosamente el arroz en los trópicos, exceptuando el International Rice Research Institute (IRRI) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). La investigación es costosa y los programas nacionales en los trópicos rara vez reciben fondos suficientes, de tal forma que los científicos deben concentrar sus exigüos recursos en las actividades e instalaciones más esenciales. También deben buscar el apoyo de los agricultores, asociaciones de arroceros regionales o nacionales, fundaciones y otras entidades donantes.

Aunque los científicos ocasionalmente pueden evitar el tener que usar tierra experimental inadecuada recurriendo a la selección rutinaria de materiales de generaciones tempranas en fincas privadas (tierra y agua proporcionada por el propietario), esta práctica suele ser contraproducente. El control incompleto de las parcelas puede ocasionar más problemas que beneficios. Igualmente, es contraproducente financiar parcialmente los programas de investigación vendiendo semilla pura o comercial sembrada en la estación experimental si el fitomejorador o sus colaboradores deben destinar parte de su tiempo a la producción de semilla en lugar de dedicarlo a las actividades de mejoramiento genético.

Lamentablemente, los administradores gastan a menudo los escasos fondos en dos áreas de poco beneficio para los programas de fitomejoramiento. En primer lugar, el tamaño de las numerosas estaciones experimentales supera ampliamente las necesidades de sus programas de investigación, ocasionando, por consiguiente, gastos adicionales en actividades tales como control de malezas o mantenimiento de carreteras, canales y cercas. Segundo, los administradores gastan los dineros para construcción y desarrollo de las fincas en oficinas y laboratorios complejos que no se ajustan a las necesidades de los científicos. Estas instalaciones pueden ser necesarias en los países templados durante los cinco o seis meses de invierno cuando el trabajo de campo es imposible; infortunadamente, se duplican innecesariamente en los trópicos. Para evitar la asignación de fondos a instalaciones elegantes pero improductivas, los científicos arroceros están obligados a informar a los administradores sobre las necesidades críticas de sus programas. Todos los científicos dedicados a la producción deben comprender que la lucha para eliminar el hambre se ganará o se perderá en los campos experimentales y en las fincas, y no dentro de los laboratorios.

Para poder efectuar un trabajo productivo de campo, un programa de mejoramiento de arroz debería contar con:

#### **4** Mejoramiento de Arroz

- por lo menos 10 ha de tierra con topografía y tipo de suelo apropiados,
- un suministro seguro de agua,
- fuerza motriz para preparar campos y parcelas,
- suficiente mano de obra, y
- un vehículo para transportar los obreros y los materiales desde y hacia los campos.

Las instalaciones bajo techo esenciales para todos los programas son:

- un invernadero o una casa de malla pequeños para el cruzamiento y evaluación de resistencia a enfermedades e insectos,
- un espacio amplio de trabajo y preparación de semilla,
- un área de secamiento,
- un modesto laboratorio de calidad de grano, y
- un cuarto pequeño con aire acondicionado (frío) para el almacenamiento de semilla.

Cualquier programa que no esté equipado con los elementos relacionados en las dos listas anteriores es inadecuado, y una cantidad mayor es superflua.

En algunos programas en países tropicales y limítrofes, los científicos siembran sólo una vez al año debido a las limitaciones climáticas o de riego. En tales situaciones, los científicos deberían disponer ya sea del riego para un segundo cultivo o de la flexibilidad necesaria para trasladar su material y personal auxiliar a un sitio más favorable, cada dos estaciones. Ningún programa es rentable si produce menos de dos generaciones por año.

### **La necesidad de un enfoque interdisciplinario**

La gran diversidad de problemas que limita la producción de arroz en los trópicos obliga a los científicos de los programas productivos de mejoramiento de arroz a adoptar un enfoque de equipo interdisciplinario para encontrar soluciones. Un científico no puede trabajar efectivamente solo; él debe insistir en que su centro de investigación ignore su tradición de organización por departamentos y disciplinas y forme equipos de científicos para atacar los problemas básicos del arroz. El ideal es que los científicos sean ante todo especialistas en producción de arroz y, en segundo lugar, fitomejoradores, patólogos, agrónomos. La experiencia demuestra que los integrantes de un equipo aceptarán una identidad profesional menos definida si se entiende claramente que la meta es el aumento de los rendimientos del arroz y si el progreso y el salario reflejan el

logro de esta meta, más bien que el número de publicaciones u otros criterios de éxito no pertinentes. Para responder al desafío del mejoramiento de arroz, los integrantes del equipo deben determinar las áreas de responsabilidad, discutir constantemente los problemas y progresos, y efectuar frecuentes revisiones informales.

Los fitomejoradores deben tener un buen conocimiento de los problemas de los científicos especializados en arroz, a fin de poder comunicarse y organizar grupos efectivos de agrónomos, fisiólogos, edafólogos, técnicos extensionistas, ingenieros agrícolas, economistas y especialistas en protección de plantas. Por consiguiente, el fitomejorador debe complementar su entrenamiento académico en mejoramiento y genética con la experiencia de campo y el estudio de las diversas ramas relacionadas con el fitomejoramiento.

Asimismo, los científicos de otros campos que intentan aplicar sus habilidades y conocimientos al mejoramiento del arroz deben entender adecuadamente el mejoramiento genético. Aunque no se puede esperar razonablemente que un agrónomo o fitopatólogo, por ejemplo, rinda homenaje primero al mejoramiento genético que a su propia disciplina, él debe considerar su campo como un componente de un esfuerzo mucho mayor: el arte y la ciencia del mejoramiento del arroz. El debe comprender que aunque los factores que afectan el crecimiento y la productividad del arroz están divididos en disciplinas, el conjunto es mayor que la suma de sus partes. Los máximos logros sólo se obtendrán cuando los científicos ignoren las limitaciones de sus respectivas ramas y aúnen sus esfuerzos hacia la meta común del mejoramiento de la planta de arroz.

## **El agricultor como integrante de un equipo**

El agricultor debería formar parte de todo equipo de investigación pero con frecuencia se le omite. Los años de experiencia de campo del agricultor lo convierten a menudo en una fuente de información práctica que le permitirá a los científicos orientar sus objetivos a problemas que no se encuentran normalmente en las parcelas experimentales.

No obstante, los agricultores deben estar convencidos de que la investigación los beneficiará y deberían confiar en los científicos agrícolas y en sus trabajos. Por lo tanto, es importante que el fitomejorador de arroz entienda los sistemas de cultivo y los problemas relacionados con la siembra comercial de las distintas variedades. Como los agricultores casi siempre encuentran difícil evaluar parcelas pequeñas en estaciones

## 6 Mejoramiento de Arroz

experimentales, uno de los mejores medios de comunicarse con ellos es realizar ensayos regionales de los mejores materiales en las fincas. Esto no solamente brinda al equipo de investigación información adicional sobre las interacciones genotipo-ambiente bajo las condiciones de finca, sino que también proporciona sitios para una serie de días de campo durante los cuales los agricultores vecinos pueden evaluar nuevas variedades potenciales y prácticas culturales.

Los extraordinarios avances en el mejoramiento del arroz en los trópicos durante los años 60 fueron dirigidos hacia los agricultores y aceptados por ellos en las áreas arroceras más favorecidas. La nueva tecnología ha sido adoptada casi completamente en las áreas más fértiles, totalmente irrigadas de Asia y América tropical. El riesgo involucrado, relativamente bajo, ha estimulado a los agricultores de esas áreas a invertir en fertilizantes, agroquímicos y control de agua, de tal forma que ahora son más conscientes del alto potencial de rendimiento de las nuevas variedades enanas<sup>1</sup>.

Las variedades y la tecnología agronómicas que desencadenaron los aumentos espectaculares de productividad en las áreas favorecidas se desarrollaron bajo condiciones estrictamente experimentales que incluyen dosis altas de aplicación de nitrógeno, el control preciso del agua, el trasplante temprano de las plántulas y el control químico de malezas y plagas. A esta metodología se deben, en gran parte, las valiosas contribuciones de la investigación.

Pero ahora reconocemos que más de la mitad de los arroceros del mundo dependen de la lluvia para el cultivo del arroz y carecen de un control adecuado del agua. La mayoría de estos agricultores no han adoptado las nuevas variedades de alto rendimiento y la tecnología generada porque el sistema de cultivo con base en las lluvias es arriesgado y la excelente tecnología, que ha sido tan beneficiosa para los agricultores favorecidos, no es satisfactoria o practicable.

La productividad del arroz no aumentará en las áreas que dependen de la precipitación pluvial o en áreas con otros problemas ambientales, convirtiendo a los agricultores en técnicos de las estaciones experimentales o aceptando como ideales sus variedades tradicionales y prácticas culturales. En cambio, la tarea es adaptar la tecnología de fitomejoramiento a

<sup>1</sup> Algunos investigadores reservan la designación enano para mutantes sumamente pequeños, de poco o ningún valor para el mejoramiento genético, y prefieren el término semienano para variedades taiwanesas y sus derivados. En este libro, sin embargo, se denominan enanas las variedades pequeñas de arroz, porque su poco tamaño es simplemente heredado y porque normalmente alcanzan la mitad de la altura del arroz normal.

las condiciones reales de cada área. Desafortunadamente, pocos científicos están modificando sus programas actualmente para adaptarse a los principales factores ambientales y prácticas culturales que limitan los rendimientos en las fincas típicas del arroz no irrigado. Esta transición será difícil para programas acostumbrados a obtener rendimientos de 8-10 ton/ha bajo condiciones ideales.

## **Criterios de selección**

El arroz se cultiva en un conjunto complejo de sistemas de producción. Estos sistemas están agrupados por conveniencia en riego, secano favorecido, aguas profundas, y secano. Sin embargo, esta clasificación no cubre la variación encontrada en el medio, suelos, sistemas de siembra, precipitación, limitantes biológicos del rendimiento, y otros factores dentro de cada sistema general. Por ejemplo, los ecosistemas del arroz de secano son enormemente variados y cada uno tiene un complejo distinto de factores que limitan el rendimiento.

Los sistemas de producción también difieren marcadamente en su potencial de productividad, que fluctúa de niveles muy altos a bajos. O sea, que la medida en que el mejoramiento varietal contribuye a aumentar los rendimientos es proporcional a la productividad del sistema de cultivo, como se observa, por ejemplo, en ecosistemas irrigados altamente productivos en comparación con sistemas de subsistencia que dependen de la mano de obra y no utilizan insumos.

La evolución de la capacidad de rendimiento fué paralela a la evolución en los sistemas de producción. Si bien es posible modificar un sistema y, por lo tanto, aumentar su productividad, esto es más que todo una función financiera de la inversión y de la investigación agronómicas que una tarea para los fitomejoradores.

Los investigadores de arroz deben estudiar y determinar los sistemas de producción hacia los cuales están enfocando su investigación de mejoramiento varietal. El ecosistema de producción define el tipo de planta de mayor utilidad. El moderno tipo de planta enano es ideal para áreas en donde se dispone de fertilizantes y herbicidas, es menos útil para ecosistemas típicos de secano favorecido, y carece de valor para cultivos en aguas profundas o para áreas de producción de secano en donde la humedad del suelo es el principal limitante del rendimiento.

Este libro está dirigido específicamente a los sistemas más favorecidos de moderada a alta productividad. El criterio de selección y tipos de planta discutidos en detalle son apropiados únicamente para estos sistemas, siendo necesario modificar sustancialmente el criterio de selección y tipos de planta para sistemas menos productivos. Estas modificaciones se deben definir con base en un análisis completo de la productividad del sistema y el complejo específico de limitantes del rendimiento.

En todos los sistemas de producción es esencial que los programas expongan sus materiales a presiones severas de selección. Con mucha frecuencia se controlan los insectos, enfermedades y deficiencias de agua simplemente para poder exhibir una buena parcela, en detrimento de la identificación de los segregantes más resistentes o tolerantes. Para áreas con problemas se necesita una mayor resistencia para una gama más amplia de limitantes, tales como enfermedades, insectos, frío, calor, aguas profundas y suelos nocivos.

Un procedimiento que merece consideración es alternar las prácticas en generaciones sucesivas de material segregante. Con este sistema, los científicos podrían manejar las generaciones alternantes tan precisa y cuidadosamente como manejan las variedades enanas de alto rendimiento para las áreas favorecidas. Pero, las generaciones alternas estarían expuestas a problemas comunes en las regiones menos favorecidas (e.g., aplicaciones muy reducidas de nitrógeno, alguna competencia de malezas, retraso en el transplante, ningún control químico de plagas, modificación de distancias de siembra y manejo irregular del agua). De este modo se modificarían los criterios de selección y las variedades resultantes tendrían un potencial más alto de resistencia bajo condiciones típicas de arroz no irrigado. Por ejemplo, las variedades enanas modernas no compiten con malezas ni rinden satisfactoriamente cuando están sujetas a escaseces o excesos periódicos de agua, transplante tardío o dosis moderadas de fertilizantes. Los productores de arroz no irrigado requieren variedades que soporten estos problemas y alcancen aproximadamente 1 m de altura o un poco más en la madurez. Pero los fitomejoradores generalmente descartan estas líneas durante la selección por su excesiva altura y propensión al volcamiento, lo cual ocasiona problemas cuando se fertiliza demasiado bajo las condiciones ideales de fincas favorecidas y de la mayoría de las estaciones experimentales. En cualquier caso, el desarrollo de tecnología apropiada para las áreas menos favorecidas y otras áreas con problemas demanda una cooperación más estrecha entre los científicos arroceros y los dos grupos de colaboradores más olvidados: el productor de arroz no irrigado, quien finalmente adopta o rechaza las variedades, y el científico social, quien a menudo conoce los factores que restringen los

rendimientos en las fincas pero rara vez puede comunicar esta información a los integrantes del equipo de fitomejoramiento.

Después de varios años de experiencia con arroz en Asia y América Latina, los autores creen en muchas teorías, generalmente despreciadas, relacionadas con el mejoramiento de los cultivos, incluyendo el arroz, en sus centros de origen. Los siguientes planteamientos correlativos parecen caracterizar todos los principales cultivos alimenticios e industriales:

- Los rendimientos son más bajos dentro de los centros de origen del cultivo.
- Los factores limitantes del rendimiento son más numerosos y complejos en los centros de origen.
- El impacto de cualquier tecnología es mínimo en los centros de origen del cultivo.
- La resistencia a los cambios en los métodos de producción del cultivo es mucho mayor en los centros de origen.

Algunos factores biológicos y sociales explican estas características. Un factor de gran importancia es que dentro de los centros de origen, los cultivos están sujetos a intensas presiones por parte de patógenos e insectos que se desarrollaron conjuntamente con sus hospedantes. El número de plagas importantes dentro de los centros de origen siempre excede a aquel que se encuentra en áreas distantes de producción. Esto se observa claramente en el caso del arroz. Las plagas que limitan la productividad del arroz son inucho más numerosas y virulentas en Asia que en América Latina, lo que explica parcialmente el rendimiento promedio sumamente alto de arroz de riego en Colombia cuando se le comparó con el de otros países (e.g., Filipinas).

Otro factor es que las variedades del cultivo que se han desarrollado mediante selección natural en sus centros de origen son vegetativamente grandes y vigorosas y presentan una gran habilidad competitiva intraespecífica e interespecífica. El mejoramiento de su potencial de rendimiento por parte del hombre reduce inevitablemente su habilidad competitiva. Por lo tanto, cuando el hombre siembra variedades mejoradas debe controlar artificialmente aquellos limitantes del rendimiento que estaban controlados parcialmente por los mecanismos naturales de defensa de las variedades competitivas no mejoradas.

De estas observaciones los autores concluyen que es sumamente difícil mejorar el arroz dentro de su centro de origen en el Sureste Asiático, y que es esencial contar con un paquete tecnológico complejo para lograr avances significativos. No obstante, la exportación de una porción de ese

paquete tecnológico a Oceanía, Europa, las Américas, o Africa podría incrementar considerablemente los rendimientos. Por el contrario, es inútil importar tecnología específica de estas áreas al Sureste Asiático.

## **Ayudas para el mejoramiento del arroz**

El principal factor individual que facilita el mejoramiento del arroz es la extraordinaria diversidad varietal que se encuentra en *Oryza sativa* y sus especies cercanas. La amplia variabilidad es la piedra angular del éxito de los programas de mejoramiento varietal. El IRRI mantiene aproximadamente 50,000 introducciones varietales y continúa recolectando nuevas introducciones en áreas geográficas de interés especial. Un catálogo de descripciones de campo y laboratorio de muchas de las introducciones está disponible para todos los investigadores de arroz. Sin embargo, pocos programas pueden o deberían mantener incluso un pequeño porcentaje de las variedades recolectadas debido a las enormes dificultades que esto representa. Afortunadamente, los fitomejoradores de todo el mundo que necesitan semilla con características específicas pueden consultar el catálogo y solicitarlas al IRRI. Los investigadores de los programas nacionales de mejoramiento del IRRI y del CIAT han transferido muchos caracteres deseables a las variedades y líneas mejoradas. Los científicos obtienen esos arroces ya sea directamente de los programas nacionales o a través de los centros internacionales.

Los enlaces internacionales que se han desarrollado rápidamente entre los programas constituyen otra importante ayuda para el mejoramiento del arroz. Los recursos y conocimientos del IRRI están disponibles para todos los programas, aunque se presta especial atención al Asia tropical. El programa de arroz del CIAT está entrelazado con el del IRRI. El CIAT actúa como un centro regional de investigación, adiestramiento e información para América Latina. El International Institute of Tropical Agriculture (IITA) atiende al Africa.

El mayor servicio que los centros internacionales prestan a los investigadores arroceros continúa siendo su habilidad y disposición para realizar aquellas actividades internacionales que los programas nacionales, por razones económicas y políticas, no están en condiciones de emprender, como son:

-La conservación del banco mundial de germoplasma de arroz, la coordinación del Programa Internacional de Pruebas de Arroz (IRTP),

el suministro de literatura traducida y las conferencias periódicas de trabajo, todo ello de inestimable valor para los científicos arroceros.

-Los programas nacionales están anexando cada vez más sus programas a aquellos de los centros internacionales, y hay una buena cooperación entre los países en los problemas de interés mutuo. Por medio de las vinculaciones internacionales es ahora posible evaluar ampliamente los progenitores y líneas avanzadas. A escala regional, esta evaluación internacional es necesaria para el éxito del fitomejoramiento.

## **El desafío**

El mejoramiento de arroz requiere años de trabajo constante, duro y sucio con muchos fracasos y escasos éxitos. Quizás un cruce en 500 o más da origen a una nueva variedad, y por cada variedad que llega a manos de los agricultores, decenas de miles de líneas se evalúan y descartan. No existe una forma fácil de mejorar la producción de arroz; ésta demanda paciencia, dedicación, continuidad y una total entrega física y mental al trabajo de campo. Los científicos arroceros que triunfan viven con sus plantas; aquellos que delegan el trabajo pesado a sus asistentes y buscan la comodidad física mientras escriben informes de progreso y concurren a conferencias no obtienen resultados satisfactorios.

Paradójicamente, a medida que el científico gana experiencia y es reconocido por sus contribuciones, aumentan las oportunidades y tentaciones para pasar el tiempo alejado del campo. El científico no debe dejarse llevar por esta tendencia si desea seguir siendo productivo.

No obstante, el número de jóvenes que dedica sus vidas al mejoramiento del arroz está aumentando, a pesar de las exigencias físicas, las frustraciones y el respaldo financiero inadecuado. Estos investigadores de arroz pueden contribuir al bienestar de la humanidad mediante el mejoramiento del cultivo alimenticio más importante del mundo. La satisfacción de que sus nuevas variedades serán aceptadas por los agricultores y consumidores compensa todas sus privaciones.

## CAPITULO 2

# Sistemas de Mejoramiento Genético

Los textos corrientes de fitomejoramiento describen detalladamente los procedimientos generales, ventajas y desventajas de los sistemas de mejoramiento masal, pedigrí y retrocruzamiento. Por esta razón sólo se discutirán sus méritos relacionados específicamente con los programas de mejoramiento de arroz.

### Competencia y sistemas de fitomejoramiento

La intensa competencia entre plantas en las generaciones segregantes tempranas es uno de los factores más críticos que afecta la elección de sistemas de mejoramiento genético. La competencia fuerte es más pronunciada en cruces de líneas enanas x altas y siempre ocurre cuando los dos progenitores de un cruce son morfológicamente distintos.

El arroz compite principalmente por la luz. La competencia comienza temprano en el estado de macollamiento y su intensidad aumenta proporcionalmente al crecimiento de la planta y la densidad de siembra. La competencia por nitrógeno puede presentarse en los estados de crecimiento posteriores al macollamiento, pero se puede superar añadiendo fertilizante. No obstante, al agregar nitrógeno se agrava la competencia por la luz toda vez que éste estimula aún más el crecimiento de las plantas altas. La competencia por la luz también se aumenta con espaciamientos cortos, la duración e intensidad de la estación lluviosa, las malezas y otros factores que reducen su penetración en la población.

La competencia es causada por las tasas diferenciales de crecimiento y tamaño de las plantas vecinas. Las plantas grandes invaden el espacio ocupado por las pequeñas, dan sombra a las otras plantas, y capturan una

**PREVIOUS PAGE BLANK**

## 14 Mejoramiento de Arroz

porción desproporcionada de la radiación solar. Las plantas más pequeñas macollan poco, producen tallos débiles y delgados, acumulan menos materia seca, y muestran una senescencia prematura de hojas y una esterilidad pronunciada de grano. En resumen, cuando las plantas más pequeñas se mezclan con las plantas grandes, parecen agrónomicamente indeseables.

Los estudios con mezclas de variedades puras de tipos de plantas contrastantes ilustran claramente los efectos de la competencia. La cantidad de plantas de variedades más pequeñas, mezcladas originalmente en proporción igual con las grandes, disminuye rápidamente. En casos extremos, todas las variedades débiles son eliminadas de las mezclas después de dos o tres ciclos de competencia.

Otros estudios similares con progenies de poblaciones segregantes de cruces de distintos tipos de plantas están relacionados más directamente con la metodología del fitomejoramiento. La herencia monogénica del enanismo dictamina que el 25% de las poblaciones  $F_2$  de un cruzamiento alto x enano es enano. Cuando no hay competencia, y asumiendo iguales aptitudes para los segregantes altos y enanos, el porcentaje teórico de enanos en las generaciones posteriores se calcula fácilmente; o sea que, sin competencia, el enanismo aumentaría del 25% en la población  $F_2$  al 48,5% en la  $F_6$ . Sin embargo, en experimentos de competencia de plantas enanas y altas, con altos niveles de nitrógeno y poco espaciamiento, las plantas enanas disminuyeron del 25% en la  $F_2$  a casi el 6% en la  $F_6$ . Esta desviación del número esperado de plantas enanas es teóricamente una medida directa de competencia. Tales pérdidas son similares pero menos drásticas en poblaciones que reciben bajos niveles de nitrógeno, que están ampliamente espaciadas, o que se cultivan en una estación despejada y seca. Estos estudios, así como las observaciones de campo, confirman claramente la pérdida marcada de plantas pequeñas en la mayoría de las poblaciones segregantes.

### Competencia y rendimiento

El resultado crítico para los fitomejoradores es la asociación de la habilidad competitiva con el valor agronómico. La competencia no sería un problema en el mejoramiento genético si las variedades altamente competitivas o las plantas individuales fueran agrónomicamente las más deseables, o si la habilidad competitiva no estuviera relacionada con el valor agronómico. Desafortunadamente, se ha demostrado repetidamente que la habilidad competitiva en el arroz está correlacionada negativamente con el valor agronómico para áreas con un control razonable del agua. De aquí que las plantas más competitivas sean las menos valiosas y las deseables se pierden por la competencia.

Los experimentos de rendimiento con arroces de conocida habilidad competitiva demuestran invariablemente que los competidores débiles rinden más cuando se cultivan en estado puro. Esta ventaja en rendimiento aumenta con la aplicación de nitrógeno, el espaciamiento pequeño, y el control adecuado del agua y las malezas. Los competidores fuertes pueden dar mejores rendimientos que los débiles con prácticas agronómicas primitivas y severamente limitantes, pero ninguna variedad rendirá satisfactoriamente en tales condiciones.

Esta fuerte correlación negativa contradice algunos datos en poblaciones segregantes de otros cereales, los cuales muestran un incremento en la habilidad de rendimiento durante selecciones masales a largo plazo. Aparte de las preguntas sobre cómo se presentan los datos de rendimiento en estos estudios, es importante no confundir o igualar la habilidad competitiva con la selección para caracteres adaptables, la cual ocurre en poblaciones mejoradas cultivadas en ambientes con problemas tales como baja temperatura y condiciones edáficas desfavorables. Los dos fenómenos son componentes de la selección natural, superficialmente similares, pero no relacionados. La habilidad competitiva depende solamente de la densidad de siembra.

### **Competencia en cruzamientos simples**

En razón de la extrema variabilidad en la mayoría de las poblaciones  $F_2$  de cruzamientos simples, es difícil identificar y seleccionar las plantas deseables incluso cuando no hay competencia. La dificultad es mayor cuando se tiene en cuenta el efecto de la competencia en los fenotipos deseables, especialmente en cruces de líneas altas x enanas. Si se permite que la competencia continúe sin reprimirla hasta que el grano madure, el proceso de selección llega a ser casi imposible en la  $F_2$ . La mayoría de las plantas más deseables reciben tanta sombra que se vuelven parcialmente estériles o son tan anormales que aquellas que sobreviven parecen inservibles y son erróneamente rechazadas.

### **Competencia en retrocruzamientos**

Los retrocruzamientos simples, o cruzamientos triples, a progenitores se practican frecuentemente cuando se buscan una o dos características de arroces altos y frondosos. Las plantas  $F_1$  de los retrocruzamientos, 50% de las cuales son enanas, pueden cultivarse en casas de malla de tres a cinco plantas por maceta. Aunque la competencia de poblaciones  $F_2$  de cruces simples en macetas no es tan severa como en el campo, ésta puede ocurrir haciendo que las plantas enanas parezcan indeseables. Las plantas  $F_1$  seleccionadas individualmente producen en el campo familias  $F_2$  que son enanas homocigotas o que segregan para altura. La competencia no

afecta mayormente las familias  $F_2$  enanas homogéneas, pero sí a las familias que segregan en altas y enanas en la proporción de 3:1, lo mismo que a las poblaciones  $F_2$  de cruces simples.

### **Soluciones a la competencia**

Los efectos de la competencia pueden reducirse usando espaciamientos amplios para las plantas  $F_2$  o no aplicando nitrógeno. Sin embargo, ninguna de estas prácticas es satisfactoria ya que ambas reducen el tamaño de las plantas genéticamente altas, haciendo más difícil la identificación y evaluación de las plantas deseables de porte más bajo. Además, los espaciamientos amplios aumentan los requerimientos de tierra y la infestación de malezas.

Existe un procedimiento más bien poco satisfactorio para reducir la competencia en las poblaciones  $F_2$  de cruzamientos simples y retrocruzamientos que involucran progenitores altos y enanos. Primero se debe inspeccionar planta por planta en las parcelas  $F_2$  cuando comienza la floración y cortar a ras del suelo los fenotipos altos. Si los tallos no se cortan por debajo del nivel del agua, las plantas retoñarán. Se dejan caer las plantas cortadas entre los surcos; se hace una segunda ronda después de que todas las plantas hayan florecido para eliminar las plantas altas que quedaron en el primer corte. Este procedimiento requiere mucha mano de obra y ocasiona una pérdida inadvertida de numerosas plantas enanas.

Para eliminar el arduo trabajo de depuración de las plantas segregantes altas, la mayoría de los programas se concentran en cruces múltiples, que incluyen ambos padres altos y enanos, y en producir un gran número de plantas  $F_1$  en la última combinación de cruces. Las  $F_1$  resultantes tendrán ambos fenotipos altos y enanos; únicamente se llevan a  $F_2$  en el campo las plantas enanas para producir poblaciones que son muy uniformes en altura.

Cuando se desean plantas de altura intermedia, este procedimiento es menos satisfactorio y requiere una supervisión estricta del fitomejorador. Aunque las plantas de altura intermedia se consideran más deseables que las enanas para las vastas regiones lluviosas en donde el control del agua es deficiente, no se ha definido claramente un buen procedimiento para la selección de dicho tipo de plantas.

### **Mejoramiento masal**

Durante décadas los fitomejoradores de arroz han usado el mejoramiento masal convencional en áreas tropicales y templadas. A pesar de sus

inherentes ventajas de simplicidad y conveniencia, los años de mejoramiento masal en Asia tropical fueron infructuosos, y no se registraron aumentos en el rendimiento en las áreas de producción más favorecidas y con buen control de agua. En efecto, la dependencia del mejoramiento masal puede ser responsable en gran parte del estancamiento de los rendimientos nacionales en los trópicos. Algunos programas de mejoramiento masal de variedades del grupo japónica, estrechamente relacionadas y morfológicamente similares, han tenido un éxito moderado toda vez que, al hibridizarlas, compiten muy poco entre sí, permitiendo avances lentos pero sostenidos.

El procedimiento masal no ha producido avances importantes en la productividad del arroz tropical por cuanto los científicos generalmente no han estado conscientes de dos principios básicos del mejoramiento del arroz:

1. La influencia de la morfología de la planta en la habilidad de rendimiento y la necesidad de remplazar los fenotipos predominantemente altos y frondosos por tipos más productivos; y
2. el efecto perjudicial de la competencia en las poblaciones segregantes y la pérdida consecuente de segregantes valiosos.

Los tipos de planta deseables con alto potencial de rendimiento deben haber aparecido repetidamente en las poblaciones  $F_2$  de los programas de mejoramiento tropical; a veces se encuentran unos pocos segregantes en cruces entre progenitores altos, frondosos. Tales plantas se parecerían a la variedad IR5, con tallos y hojas moderadamente cortos y maduración precoz a intermedia. Los mutantes enanos también pueden haber aparecido irregularmente en las poblaciones segregantes.

No obstante, los fitomejoradores generalmente no han sabido reconocer el valor de estos segregantes más pequeños y los rechazaron o los perdieron porque fueron inferiores en su habilidad de competencia por la luz. Por lo tanto, el mejoramiento masal no redundó en incrementos progresivos en rendimiento aunque fue efectivo en la selección de ciertos caracteres independientes de la densidad como tamaño del grano, calidad de cocción, maduración, insensibilidad al fotoperíodo, resistencia, tolerancia a problemas edáficos y glabrescencia.

Más recientemente, el conocimiento de las interacciones del tipo de planta, la habilidad de rendimiento y la competencia han conducido a la mayoría de los fitomejoradores a evitar completamente o a modificar el sistema masal convencional. Actualmente se reconoce que el mejoramiento

## **18** Mejoramiento de Arroz.

masal irrestricto es inútil cuando se busca aumentar los rendimientos en cruzamientos que segregan ampliamente por el tipo de planta.

Sin embargo, un sistema modificado de mejoramiento masal tiene un buen potencial en el mejoramiento del arroz. El sistema modificado comprende la selección de una o dos panículas de cada una de las mejores plantas de una población. El sistema masal continúa hasta la  $F_5$  o  $F_6$  cuando las plantas superiores son seleccionadas y purificadas. El sistema es practicado exitosamente en el Japón, en donde el intercruzamiento de variedades relacionadas estrechamente produce generaciones segregantes más bien uniformes. La selección masal modificada es probablemente más satisfactoria que la selección genealógica o de pedigrí cuando el área de cultivo en cuestión tiene una productividad moderadamente baja. Un ejemplo es el arroz de secano favorecido en donde los problemas son numerosos y delicados pero masivos. Otro ejemplo serían los programas de mejoramiento de arroz de secano enfocados a combinar tolerancia a la sequía, enfermedades, y condiciones adversas del suelo.

En el IRRI se usa un sistema masal modificado similar al de descendencia de semillas individuales para avanzar rápidamente las generaciones en cruces que involucran la sensibilidad al fotoperíodo. Las generaciones tempranas se siembran con espaciamentos pequeños (1000 plantas/m<sup>2</sup>) en el invernadero o fitotrón y se llevan hasta la  $F_5$  bajo un régimen artificial de días cortos y temperaturas altas. Este procedimiento reduce grandemente el tiempo requerido para desarrollar materiales sensibles al fotoperíodo, ya que una generación se puede obtener en menos de 100 días. No hay peligro de perder los segregantes menos competitivos porque se siembra la semilla de cada planta.

### **Mejoramiento por retrocruzamiento**

Los fitomejoradores de arroz no han usado en gran medida el método de retrocruzamiento, por medio del cual se transfiere un carácter de una variedad mejorada usándola repetidamente como progenitor recurrente. La principal desventaja del retrocruzamiento es que ninguna variedad es tan cercana a la ideal que únicamente sea necesario mejorar una sola característica. Aunque los programas de mejoramiento activos están desarrollando continuamente nuevas y mejores variedades para sustituir las más viejas, ningún programa de arroz tropical ha alcanzado la etapa donde no sea dado esperar un mejoramiento significativo de la calidad del grano, los rendimientos, o la estabilización del potencial de rendimiento.

El retrocruzamiento convencional puede ser útil para ciertos problemas específicos. Por ejemplo, la línea Colombia 1 tiene resistencia dominante

monogénica a la enfermedad piricularia. Miles de selecciones en generaciones tempranas de cruces de Colombia 1 con líneas enanas mejoradas han mostrado que los segregantes resistentes ocurren con las frecuencias pronosticadas, pero sus tipos de planta o grano son invariablemente deficientes. Esto sugiere una marcada asociación entre la resistencia y los caracteres pobres de planta y grano de Colombia 1. En este caso, los retrocruzamientos repetidos a progenitores mejorados enanos, junto con la selección rigurosa en la  $F_1$  después de cada retrocruzamiento podrían romper la asociación.

Otro ejemplo de la utilidad selectiva del retrocruzamiento convencional se registró al iniciar el programa de mejoramiento del IRRI cuando se cruzó la variedad Peta, de grano de longitud media con un endosperma yesoso y baja temperatura de gelatinización, con Belle Patna, la cual tiene grano largo, endosperma claro y temperatura de gelatinización intermedia. Como resultado de una serie de retrocruzamientos a Peta, usando plantas  $F_1$  con caracteres de grano similares a los de Belle Patna, se obtuvieron líneas morfológicamente similares a Peta pero con las características de grano de Belle Patna. Este caso es interesante porque los tres caracteres son heredados independientemente y genéticamente complejos. La transferencia simultánea de tres caracteres complejos del progenitor donante ilustra el potencial de retrocruzamiento convencional, considerado a menudo útil sólo para la transferencia de caracteres simples, monogénicos.

El retrocruzamiento se ha usado en el programa del IRRI para transferir la resistencia a la enfermedad viral enanismo del arroz silvestre a las variedades enanas con un buen tipo de planta. Este método se utiliza actualmente en el programa para mejorar la resistencia al saltahoja café (*Nilaparvata lugens*), vector de dicho virus.

Para 1977 ya se habían distribuido varias variedades que llevan ya sea el **Bph 1**, un gen simple dominante para resistencia al saltahoja café, o el **Bph 2**, un gen recesivo simple. Se espera que pronto surjan nuevos biotipos de esta grave plaga que convertirán estas variedades en susceptibles. Recientemente se han identificado dos nuevos genes resistentes. La manera más rápida y segura de incorporar estos genes en variedades apropiadas es el retrocruzamiento convencional.

### Método de retrocruzamiento simple

Un procedimiento útil en todos los cruces que incluyan un progenitor enano y uno alto, frondoso, es un retrocruzamiento simple al progenitor enano. Este procedimiento se hace rutinariamente y con éxito en los programas del IRRI y del CIAT. Una modificación del retrocruzamiento simple es cruzar la  $F_1$  con otro padre de buen tipo de planta y calidad de

grano para producir un cruzamiento triple, el cual se maneja como un retrocruzamiento. Un retrocruzamiento simple al progenitor con un tipo de planta y grano excelentes concentra estos caracteres, al mismo tiempo que retiene las frecuencias adecuadas de los genes deseados del progenitor alto no recurrente. El retrocruzamiento simple da al fitomejorador dos oportunidades para buscar la misma combinación parental. Al sembrar ambas  $F_2$  del cruce simple y del retrocruzamiento se duplican las oportunidades de encontrar buen material porque la población del retrocruzamiento es siempre de mejor calidad que la de un cruce simple.

La apariencia de la  $F_2$  de un cruzamiento simple es un indicativo razonablemente acertado del valor del retrocruzamiento. Pero algunas veces la  $F_2$  de un cruce simple produce pocos segregantes deseables, mientras que la  $F_2$  de un retrocruzamiento es excelente. Utilizando solamente un retrocruzamiento se obtiene una segregación y recombinación suficientemente amplias para producir muchos segregantes con características de planta y grano superiores a aquellas de los progenitores enanos recurrentes.

El éxito de un retrocruzamiento simple está directamente relacionado con el número de plantas y la intensidad de la presión de selección aplicada a la población  $F_1$ . Para obtener una  $F_1$  grande, usualmente se producen de 50 a 100 o incluso más semillas en un retrocruzamiento. A continuación los científicos evalúan cada planta  $F_1$  y descartan aquellas que son altamente estériles, de maduración muy tardía, o cuyo grano tiene una forma y tamaño inferiores. El retrocruzamiento de una  $F_1$ , heterocigota para el gen enano, al progenitor enano produce un 50% de plantas altas en la población  $F_1$  del retrocruzamiento. Las plantas altas con características aceptables se avanzan, en algunos programas, a la  $F_2$  junto con las mejores plantas enanas. De cada familia  $F_2$  se cultivan de 200 a 400 plantas. Las familias  $F_2$  que se derivan de plantas altas de  $F_1$  retrocruzadas segregan en plantas altas y enanas en una proporción de 3:1. Las plantas altas se desechan, como se describió previamente, para reducir la competencia y asegurar la supervivencia de las enanas deseables.

El programa del CIAT practica una modificación del procedimiento típico para manejar cruces altos x enanos. Las plantas  $F_1$  se retrocruzan al progenitor enano hasta obtener 200 o más plantas  $F_1$  retrocruzadas. Todos los segregantes altos se descartan aún cuando puedan ser heterocigotos para enanismo, a fin de eliminar la necesidad de depurar los segregantes altos en las familias  $F_2$ . Esto deja un mínimo de 100 enanos homocigotos que se continúan seleccionando por fertilidad y características del grano. Solamente se cosechan los enanos fértiles con buen grano que luego se siembran en el campo para establecer las familias  $F_2$ . La semilla  $F_2$  del

cruzamiento simple original se cosecha y se almacena, pero no se siembra en el campo.

Mediante este procedimiento no es necesario eliminar las plantas altas de las poblaciones  $F_2$  porque el cruzamiento simple no se siembra y sólo se seleccionan las plantas enanas del retrocruzamiento. Además, se evita la selección tediosa a través de la  $F_2$  del cruzamiento simple, la cual es predominantemente indeseable. El gran número de plantas  $F_1$  del retrocruzamiento garantiza la disponibilidad de numerosas familias  $F_2$ , con una concentración de caracteres deseables de la planta y grano, para continuar con la selección.

Cuando el progenitor alto, no recurrente, sirve de fuente de resistencia a una enfermedad con herencia simple, como es frecuentemente el caso de la resistencia a la piricularia, se evalúa la reacción a la enfermedad de algunas de las plántulas  $F_2$  de cada planta enana  $F_1$  seleccionada del retrocruzamiento, antes de sembrar las familias  $F_2$ . La mitad de las familias seleccionadas portarán el gen de resistencia; las restantes, las cuales no segregan plantas resistentes, se descartan y solamente se siembran en el campo las familias portadoras de resistencia. En un ejemplo típico, 100 de las 200 plantas  $F_1$  del retrocruzamiento son enanas. De éstas, quizás 20 se descartan por esterilidad o mal tipo de grano, quedando 80 plantas. Cerca de la mitad son portadoras de resistencia a piricularia, o sea que 40 familias  $F_2$  se siembran en el campo. Por consiguiente, una población  $F_2$  de varios miles de plantas está compuesta de familias seleccionadas en la  $F_1$  por el tipo de planta, fertilidad, tamaño del grano y resistencia a piricularia.

## **Mejoramiento genealógico o por pedigrí**

El método de pedigrí ha sido el más común y exitosamente usado en el mejoramiento del arroz, aunque todavía tiene ciertas desventajas. Este método requiere mucho tiempo para evaluar periódicamente las líneas durante la estación de cultivo y mantener los registros, en los cuales se basa la selección en el momento de la madurez. Por otra parte, es muy laborioso porque cada selección se debe preparar no solamente para la siembra en el campo sino también para la evaluación en laboratorio y en viveros especiales por la calidad del grano, resistencia a enfermedades e insectos y otros caracteres. De todos los métodos de mejoramiento, el de pedigrí es el que exige mayor familiaridad con el material y con los efectos relativos de genotipo y medio ambiente en la expresión del carácter.

## 22 Mejoramiento de Arroz

Sin embargo, sus muchas ventajas explican su vasto uso. Cabe destacar que las generaciones tempranas de las plantas seleccionadas en el campo pueden evaluarse en pruebas especiales para caracteres tales como resistencia. Esto suministra una base sólida para descartar las líneas indeseables y concentrarse en el material útil. Los datos de las evaluaciones de estas progenies de plantas individuales se obtienen mientras las nuevas líneas pedigrí están creciendo en el campo. Así, las líneas que resultan de mala calidad, con su susceptibilidad, u otros defectos, se eliminan inmediatamente de los libros de campo para no perder tiempo con ellas.

Ocasionalmente una de estas pruebas falla y da resultados inciertos. Los registros del sistema pedigrí para generaciones previas permiten al fitomejorador conocer el comportamiento del carácter mejorado en cuestión volviendo a los surcos de los cuales se hicieron las selecciones. Esta información más temprana permite al fitomejorador predecir, hasta cierto punto, el comportamiento de las líneas en el vivero de campo.

## CAPITULO 3

# Procedimientos Operacionales

Independientemente del sistema de fitomejoramiento utilizado, los programas de mejoramiento de arroz deberían organizarse en la misma forma básica, dependiendo por supuesto de sus objetivos y alcance. Es de gran importancia que los programas de mejoramiento genético sean sistemáticos; de lo contrario, crearán confusión.

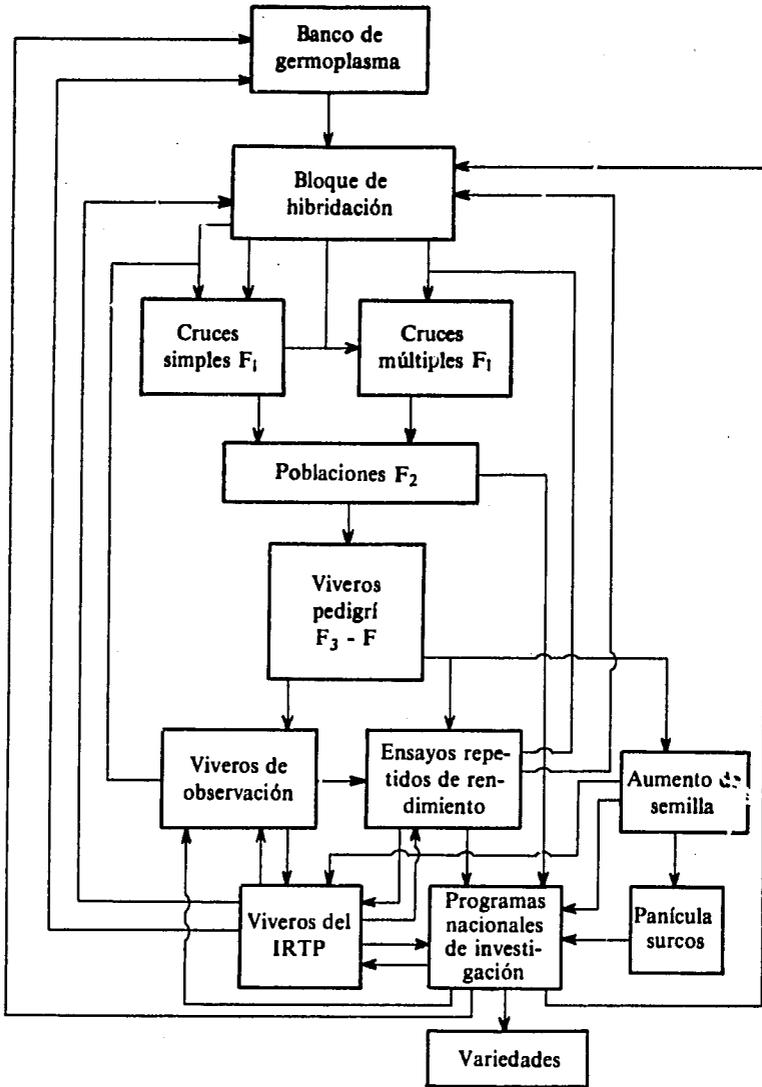
### Organización del programa

La experiencia demuestra que “los cruces supremamente promisorios” rara vez dan como resultado buenas variedades. Los intentos para conseguir generaciones avanzadas en tales cruces sólo conducen al uso ineficiente del personal auxiliar. Muy frecuentemente, tales materiales sembrados en época diferente de la estación de siembra se pierden debido a las ratas y a los pájaros. El mejor enfoque es establecer y seguir un sistema operacional que incluya los procedimientos específicos para cada operación, viveros y ensayos de rendimiento que se vayan a efectuar. Obviamente, este sistema debería permitir una eficiencia máxima en la evaluación y avance de generaciones.

Aquí se discuten la organización del programa del IRRI (Fig. 1) y variaciones importantes, como las del programa del CIAT, especialmente. Se presentan primero consideraciones comunes a viveros y ensayos varios, tales como preparación de tierra, métodos de siembra y cuidado de la parcela.

### Campos permanentes

Si las facilidades de la estación experimental son compartidas con otros cultivos, el fitomejorador de arroz deberá conseguir que le adjudiquen un



1

*Flujo de material en el Programa de Mejoramiento de Arroz del IRRI.*

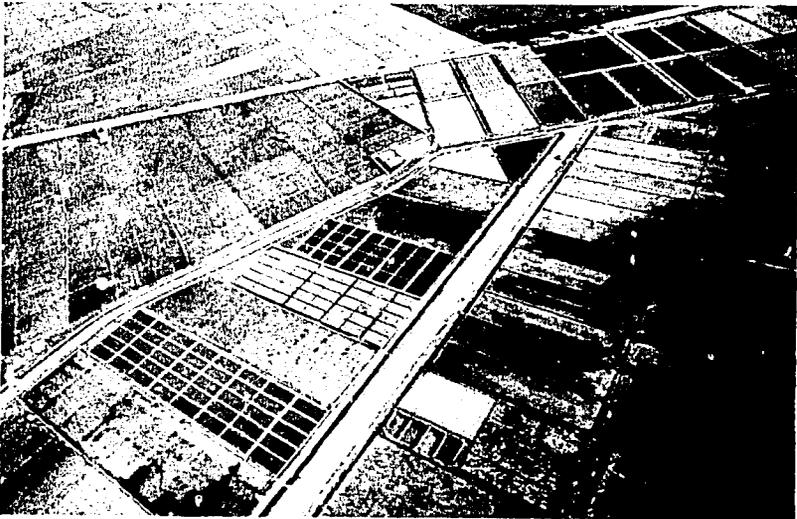
lote permanente. Las parcelas experimentales de arroz no se rotan fácilmente con otros cultivos debido a la preparación del suelo y de la parcela, los problemas específicos de irrigación y drenaje, y los diques permanentes del campo. Los programas de siembra directa deberían contar con un área suficientemente grande, a fin de no tener que utilizar los mismos lotes para material mejorado más de una vez cada año y medio a

dos años. El campo debe labrarse periódicamente para destruir las plantas espontáneas de semilla caída.

### Tamaño del lote

Los lotes pequeños separados por diques provisionales son totalmente inadecuados. Aunque ningún tamaño es ideal para todas las circunstancias, un ancho de 25 m es muy útil. Este permite diseñar cuatro bloques de 5 m para material de transplante con separaciones de 1 m entre sí. Los surcos en los viveros transplantados se orientan paralelamente a la dimensión más angosta (ancho) del lote. Los surcos en viveros sembrados directamente usualmente se orientan paralelamente a la longitud del campo para facilitar la demarcación de los surcos. Los bloques de 65 surcos espaciados a 30 cm se ajustan a lotes de 25 m de ancho, dejando calles amplias para marcar los surcos a cada lado de los diques del campo. La Figura 2 muestra una vista aérea del diseño de bloques experimentales en la granja del IRRI.

La longitud del lote depende de la pendiente del terreno y del grado al cual cada parcela pueda nivelarse sin exponer el subsuelo infértil. La longitud óptima puede fluctuar de 80 a 120 m. Lotes más pequeños rodeados por diques permanentes desperdician espacio y son difíciles de preparar con maquinaria. En lotes más grandes, el control del agua es a menudo irregular, y se dificulta la cosecha de los materiales de maduración variable.



2

*Vista aérea de una parte de los campos de investigación del IRRI. Observe el diseño de los bloques experimentales.*



3

*F. V. Ramos (izquierda), superintendente del IRRI, supervisa la nivelación con agua de la tierra en un lote recientemente desarrollado en los terrenos del instituto.*

El movimiento de tierra para formar nuevos lotes de más o menos 25 x 100 m puede ser considerable. Esto puede hacerse satisfactoriamente con maquinaria (Fig. 3) o trabajando en el agua con animales. Si hay equipo disponible, are la tierra mientras está seca y levante diques permanentes. Mantenga el tamaño de los diques a un mínimo para reducir el mantenimiento y control de malezas. Luego inunde cada lote y traslade el fango de las áreas más altas a las más bajas. Si la única fuente de fuerza son los animales de tiro y los materiales se van a transplantar, are y mueva la tierra después de anegada. Una vez formados los lotes permanentes, la nivelación puede repetirse cada varias siembras. Los lotes normalmente se diseñan en dos bloques separados por un canal que permite inundar y drenar cada lote independientemente de los otros.

### **Semilla caída**

La semilla de arroz puede permanecer viable por varios años en los suelos tropicales. Las plántulas espontáneas de granos desgranados de cosechas previas son un constante problema en campos sembrados directamente, debido a que ellas se desarrollan junto con las semillas de los nuevos viveros. Las mezclas resultantes son frecuentemente difíciles de distinguir de las segregantes normales. Las aradas y rastrilladas frecuentes del terreno controlan parcialmente el problema. La quema de la paja y plantas dejadas en el campo es también útil. Una buena desyerba inicial de

toda la vegetación entre surcos reduce considerablemente la contaminación, aunque algunas plantas espontáneas pueden aún crecer dentro de los surcos.

Las parcelas de multiplicación de semilla sembradas directamente se deben establecer en terrenos que no hayan sido sembrados con arroz por varias cosechas. Si la semilla para sembrar las parcelas de multiplicación proviene de surcos que se sabe o se sospecha contienen mezclas, es importante seleccionar las panículas individualmente, observarlas en el laboratorio, y desechar las que no son del tipo deseado. Para asegurar la uniformidad, inspeccione frecuentemente los surcos de panículas en el primer ciclo de multiplicación.

Las plántulas espontáneas rara vez constituyen un problema en poblaciones transplantadas. La rastrillada final destruye toda la vegetación del campo, dando a las plántulas transplantadas una ventaja en tamaño sobre cualquier semilla caída que germine después. Además, el trasplante de plántulas individuales con espaciamiento constante facilita la identificación inmediata de cualquier planta que esté fuera de lugar.

## Métodos de siembra

De ser posible, los fitomejoradores de arroz deberían transplantar el material en lugar de sembrarlo directamente. Incluso las variedades desarrolladas para siembra directa a nivel comercial se pueden transplantar sin preocuparse de que se presente alguna selección natural adversa contra las características deseadas. No obstante, surgen severas dificultades cuando un programa de fitomejoramiento diseñado para arroz transplantado siembra material directamente.

Un problema es que la siembra directa aparentemente favorece la selección natural de plantas con baja habilidad de macollamiento. Por ejemplo, después de muchos años de tal selección en los Estados Unidos y Surinam, se han desarrollado variedades relativamente productivas que no son adecuadas para trasplante debido a que su habilidad de macollamiento es limitada. Además, la evaluación y selección de plantas sembradas individualmente y uniformemente espaciadas son más rápidas porque el fitomejorador no tiene que separar las plantas para cerciorarse de que está cosechando las panículas de una sola planta. Los espaciamientos estándar dan como resultado menor competencia entre plantas y un crecimiento más uniforme en los surcos. Las plantas así espaciadas no solamente producen más semilla, sino que los surcos de materiales segregantes para

transplante también requieren menos semilla. El material puede transplantarse durante períodos lluviosos, pero la siembra directa requiere que las condiciones climáticas sean ideales para preparar la tierra y hacer los surcos. Finalmente, las malezas y plántulas espontáneas se pueden controlar más fácilmente en arroz transplantado.

### Transplante

El transplante tiene tres desventajas principales:

1. En igualdad de condiciones, el transplante es más lento que la siembra directa, aún cuando esté bien organizado.
2. El transplante requiere grandes cantidades de mano de obra para preparar y sembrar los semilleros, arrancar, transportar y sembrar las plántulas.
3. Caminar por el suelo fangoso de parcelas transplantadas es difícil y puede ser riesgoso para los obreros descalzos.

Aún cuando muchos programas deben sembrar directamente debido a los altos costos laborales, algunos podrían transplantar rentablemente parte del material. La  $F_2$  es la generación más importante para transplantar debido a que es la más difícil de seleccionar. Los espaciamentos uniformes entre plántulas individuales en las  $F_2$  transplantadas simplifican la depuración y la selección. Los programas que siembran directamente también pueden ganar tiempo valioso transplantando la semilla de los primeros ciclos de multiplicación de nuevas variedades potenciales. Un kg de semilla transplantada con un espaciamento amplio y dejando una sola planta/sitio produce fácilmente una tonelada o más de semilla bajo condiciones normales. Pero cuando se siembra directamente la misma cantidad de semilla, a una densidad baja de 50 kg/ha, se obtendrán solamente cerca de 100 kg de semilla.

El espaciamento entre surcos más conveniente para material transplantado es de 30 cm. Los espaciamentos menores dificultan el desplazamiento dentro de las parcelas y la selección de plantas. Cuando se siembra 1 planta/sitio, los surcos pueden espaciarse a 25 cm para líneas segregantes y 15 ó 20 cm para ensayos de rendimiento. Las plántulas extras se colocan al pie de cada surco para reemplazar las que no sobrevivan a los cinco días después del transplante. Los rótulos de los surcos deben ir numerados y provistos de alambres. A medida que se saca cada manojito de plántulas del semillero se le debe amarrar el rótulo de identificación. Identifique los viveros genealógicos o de pedigrí con un rótulo de madera a medida que

efectúa el transplante. Puede usarse cualquier técnica para identificar los semilleros que asegure la integridad de cada línea pedigrí, línea pura o población masal.

El procedimiento de transplante del IRRI emplea un semillero ya sea “seco” o “húmedo”, según las condiciones del tiempo y otras consideraciones, como la presencia de inóculo de enfermedad. El programa del CIAT prefiere semilleros en seco por razones de conveniencia general y porque se ocasionan menos daños a las raíces al arrancar las plántulas.

Para semilleros en seco se necesita un suelo de secano bastante liviano que permita irrigarlo fácilmente. Si el área no ha sido usada previamente como semillero, investigue las deficiencias de nutrientes del suelo en macetas o en cajones. Los suelos neutros o alcalinos deberán fertilizarse libremente con azufre elemental. Construya semilleros de más o menos 1 m de ancho manualmente o con un tractor pequeño. Nivele los semilleros y remueva los terrones, luego haga surcos a intervalos de 10 cm con un marco de madera. Entierre la semilla, la cual puede ser pregerminada para poblaciones masales, en el surco y cúbrala. Coloque estacas de identificación a intervalos de 10 surcos. Cuando se necesite agua, inunde las depresiones entre los semilleros y moje éstos con una pala. Proteja los semilleros de ratas y pájaros hasta que las plántulas estén fuertes y revíselas diariamente. Cuando las plántulas se vean amarillentas y retardadas sin ninguna razón obvia, la inundación continua del semillero puede remediar el problema.

La técnica del semillero húmedo es convencional en los cultivos de arroz del Asia y se modifica sólo levemente para adaptarla al material de mejoramiento. Fanguée el suelo completamente, drénelo y déjelo hasta que el fango adquiera la cohesión necesaria. A continuación, amontone el fango para formar semilleros de 1 m de ancho y emparéjelos hasta obtener una superficie suave y firme (Fig. 4). Espere uno o dos días para que los semilleros estén más firmes, luego marque los surcos sobre la superficie de lodo con un marco de madera a 10 cm de intervalo (Fig. 5). Entierre la semilla en los surcos y cúbrala con tierra seca, fina (Fig. 6). Inunde las calles entre los semilleros y mójelos cuando sea necesario. Marque los surcos con estacas a intervalos de 10 surcos. De nuevo, los semilleros deben protegerse de los pájaros y las ratas (Fig. 7), y puede ser necesario anegar si la mortalidad de plántulas es alta.

Antes de arrancar las plántulas, usualmente 21 días después de la siembra en los trópicos, prepare estacas de madera (Fig. 8) para identificar cada surco o grupo de surcos que constituirán una parcela después del



4 *Construcción y pulimento de los semilleros húmedos para obtener una superficie suave y firme.*



5 *Hechura de surcos en la superficie del semillero húmedo usando un marco de madera.*

transplante. Al extremo de cada estaca de identificación amarre un alambre de 30 cm. Al momento de arrancar, coloque la estaca de identificación, adecuadamente numerada, al final de cada surco (Fig. 9). Anege el semillero para ablandar el suelo, arranque las plántulas y átelas en manojos con el alambre de la estaca (Fig. 10). Diseñe los surcos y las parcelas dentro del lote donde se va a efectuar el transplante utilizando



6 Después de colocar las semillas en los surcos se las cubre con tierra fina.



7 Los semilleros se deben proteger de los pájaros (colocando un pajarero) y de las ratas (con una cerca apropiada).

estacas de bambú o de otro tipo de 1 m de largo (Fig. 11). Luego coloque los manojos de plántulas al pie de cada estaca. Retire los rótulos pequeños de identificación de cada manajo y átelos a la parte superior de la estaca de bambú para identificar cada surco transplantado durante el transcurso del vivero o ensayo (Fig. 12). Transplante el vivero usando un alambre como guía para mantener el espaciamiento y alineación apropiados (Fig. 13).



8

*Preparación de los rótulos de madera.*

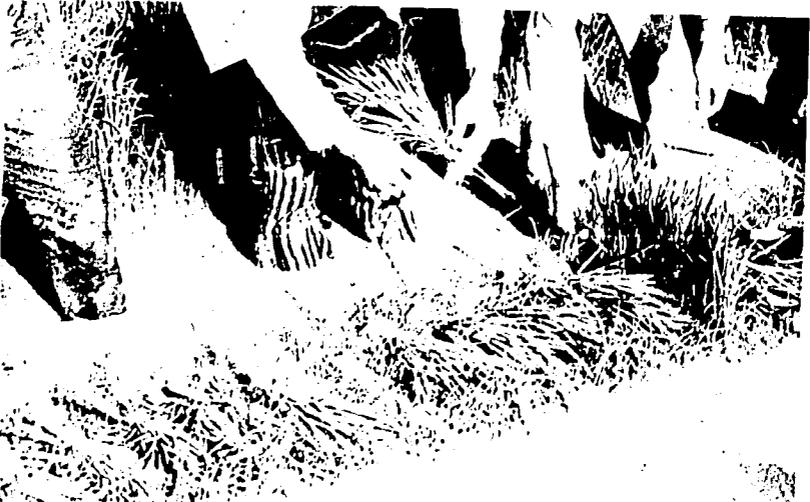


9

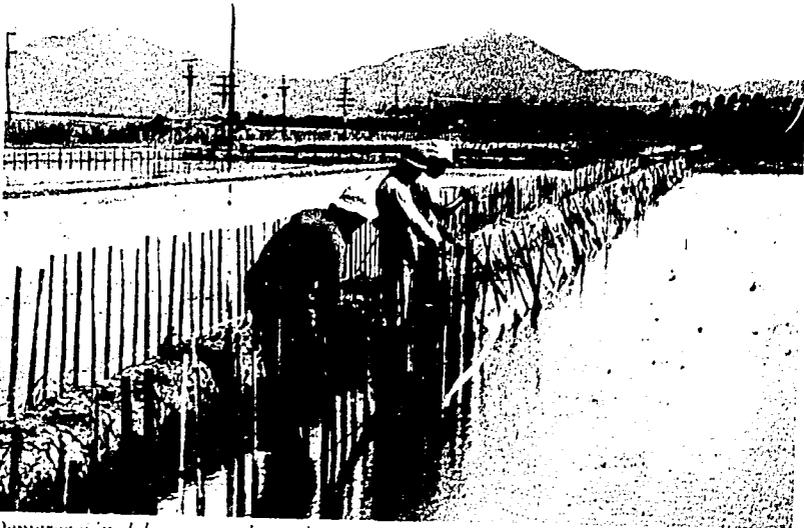
*Los rótulos de madera provistos con alambres se introducen en el barro al extremo de cada surco antes de arrancar las plántulas.*

### **Siembra directa**

Los lotes que se van a preparar para siembra directa se surcan mecánicamente e inmediatamente antes de sembrarlos. El espaciamiento uniforme entre surcos es de 30 cm porque la demarcación de los mismos, la siembra y la selección son difíciles con espaciamientos más cortos. El



10 *Las plántulas se arrancan y se atan en manojos, quedando listas para distribuirlas en el campo.*



11 *Demarcación del campo colocando una estaca de bambú en cada surco.*

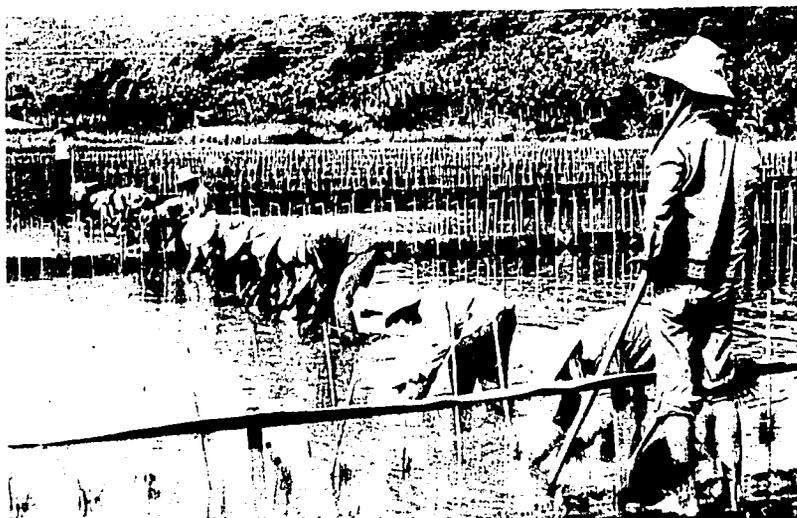
programa de mejoramiento de arroz de secano de Costa Rica utiliza un espaciamiento de 25 cm para agudizar el problema de sequía. Las malezas aumentan con surcos espaciados a más de 30 cm, además de que es más difícil distinguir entre los tipos de plantas deseables e indeseables.

Algunos fitomejoradores están preocupados por el espaciamiento de surcos a 30 cm porque los agricultores siembran sus cultivos en hileras más



12

*Las plántulas se colocan al pie de cada estaca de bambú y las etiquetas de identificación se amarran a las estacas.*



13

*El vivero se transplanta utilizando un alambre como guía para obtener un espaciamiento y alineación adecuados.*

próximas o al voleo. Realmente esto no es problema porque los tipos preferidos de alto macollamiento, fácilmente identificables a espaciamientos de 30 cm, son igualmente deseables para cultivos sembrados directamente en hileras o al voleo, o transplantados. La mayoría de los experimentos muestran que las líneas de más alto rendimiento producen

consistentemente más a medida que el espaciamiento de los surcos aumenta hasta 30 cm. Aunque los materiales de poco macollamiento usualmente rinden más con espaciamientos más cortos que amplios, son menos deseables para las siembras comerciales.

Cuando los viveros se siembran a mano, el lote se surca mecánicamente, y luego se estaca y se divide en bloques por medio de cabuya dejando calles de 1 m entre bloques. Para ahorrar tiempo, el fertilizante basal deberá esparcirse sobre el suelo en lugar de aplicarse en los surcos. Use azadones para cubrir ligeramente los surcos sembrados con tierra proveniente de los bordes de cada surco. Esto no da como resultado la mezcla de semilla de un surco a otro. La siembra manual es notablemente eficiente y rápida, y relativamente libre de error. Una cuadrilla de 20 trabajadores puede surcar, fertilizar, sembrar, y cubrir 5000 surcos de 5 m/día fácilmente.

Aunque llueva, riegue las parcelas inmediatamente después de la siembra para asegurar una germinación uniforme. Deje por lo menos 5 m de distancia entre la entrada del agua y el primer bloque de surcos para evitar que el agua arrastre la semilla. Introduzca el agua en la esquina más baja del campo con el objeto de que ésta corra lentamente hacia las partes más altas.

Los ensayos de rendimiento de arroz empleando el sistema de siembra directa se deben efectuar en surcos, porque los resultados son invariablemente inadecuados cuando la semilla se siembra al voleo en parcelas pequeñas. La siembra al voleo sólo es útil para parcelas grandes, incluyendo ensayos regionales en fincas privadas.

Los viveros sembrados directamente se marcan con estacas tan pronto como sea posible después de la germinación para que los caracteres de las plántulas puedan registrarse. Use estacas de identificación cada 5 surcos. (La marcación con estacas cada 10 surcos dificulta la identificación durante la selección.) Cada línea del ensayo de rendimiento debe ser identificada. Los rótulos de madera de las parcelas se deben cortar en secciones de 5 cm. Numere los rótulos por ambos lados en el laboratorio (algunos laboratorios tienen máquinas manuales para numerar), revístalos con parafina derretida y amárrelos con alambre a cada estaca.

## **Manejo de la parcela**

Una de las mayores fallas de los programas de mejoramiento de arroz es la atención inadecuada que se presta al crecimiento y desarrollo de los materiales de mejoramiento. Cuando las variedades potenciales están

destinadas a condiciones de arroz de riego, el fitomejorador de arroz debe mantener el crecimiento vigoroso y normal de su material de mejoramiento durante todo su ciclo de vida para facilitar la identificación y selección de las mejores plantas y líneas. Las condiciones deficientes de crecimiento mejoran la apariencia de fenotipos altos, tradicionales, indeseables, y hacen que la mayor parte de plantas de buen tipo aparezcan indeseables. Las observaciones basadas en plantas anormales son confusas e invariablemente se termina seleccionando material de mala calidad.

Normalmente el costo de mano de obra y herbicidas para erradicar las malezas durante el primer mes de crecimiento es considerable. Después de aplicar cualquier herbicida selectivo contra malezas gramíneas usualmente se afectan una o más limpiezas manuales de las malezas remanentes. No hay excusa para que haya competencia significativa de malezas en las parcelas desde el macollamiento inicial hasta la cosecha.

Un problema común en las parcelas de arroz es la deficiencia nutricional, o las toxicidades en los suelos alcalinos o extremadamente ácidos. Las deficiencias se combaten mejor incorporando los elementos esenciales antes de la siembra, y nivelando completamente el terreno al que después se le aplica agua de riego debidamente controlada. Algunos problemas de toxicidad se controlan reduciendo la materia orgánica incorporada durante la preparación de la tierra, y drenando y secando la superficie del suelo a mediados del ciclo de cultivo. Sin embargo, en muchos casos es posible desarrollar variedades con buena tolerancia a problemas edáficos específicos, económicamente importantes en las fincas. En la colección mundial de arroz existe tolerancia genética a problemas nutricionales. En estos casos, para distinguir las plantas tolerantes de las susceptibles, no es apropiado suministrar un correctivo al suelo cuando el problema es moderado ni controlarlo parcialmente cuando es severo.

El nitrógeno es una de las mejores herramientas del fitomejoramiento para diferenciar las plantas buenas de las malas. Aplique periódicamente suficiente nitrógeno para mantener el color verde oscuro y el desarrollo vigoroso de las plantas. La dosis total depende de factores tales como la textura del suelo, control adecuado de aguas, o temperatura ambiental. El nitrógeno promueve el volcamiento de los fenotipos altos y de los enanos con tallos débiles, mientras que las plantas fuertes permanecen erectas.

Es un error aplicar cantidades bajas de nitrógeno simplemente porque el uso comercial de fertilizantes en algunas áreas es bajo. La tendencia a aumentar el uso de nitrógeno en haciendas que tienen un buen control de aguas continuará mientras se sigan desarrollando variedades que respondan bien a altas aplicaciones. Los fitomejoradores generalmente

usan más nitrógeno que el agricultor corriente, con el objeto de facilitar la evaluación y selección de materiales de crecimiento vigoroso y competitivo con las malezas.

Los fitomejoradores deberían propiciar las epidemias de enfermedades e infestaciones de insectos en su material cuando los organismos causales son un problema significativo en las fincas. La presión fuerte de enfermedades e insectos, a través del crecimiento de generaciones segregantes en el campo, es la mejor ayuda posible para la identificación de líneas resistentes. La infección natural o artificial en el campo se utiliza de preferencia en comparación con las pruebas de resistencia en invernaderos o en jaulas. Algunos investigadores controlan las epidemias argumentando que de otra manera perderían la mayor parte de sus materiales de mejoramiento; si esto es así, su material es de poco valor para las fincas. Es preferible perder material susceptible, pero útil para otros fines, que suprimir las epidemias y correr el riesgo de distribuir variedades con resistencia inadecuada.

El manejo de las parcelas es un problema especialmente importante para los fitomejoradores que están desarrollando variedades para áreas de producción lluviosas, de secano, de aguas moderadamente profundas y con otros problemas. El manejo ideal para el desarrollo varietal del arroz de riego es claramente inadecuado para áreas marginales de producción en donde los agricultores sólo tienen acceso parcial a la nueva tecnología. No obstante, las parcelas enmalezadas, deficientes en nitrógeno, son indeseables, no importa cuál sea el objetivo del mejoramiento.

Para áreas con problemas potenciales de las plantas, como las de secano, las variedades deberán ser suficientemente vigorosas y bien adaptadas a fin de producir rendimientos moderados cuando las prácticas de cultivo están lejos de ser ideales. Pero deben observarse incrementos en la producción cuando se emplean prácticas mejoradas. En las estaciones experimentales a menudo se ejerce un mejor control del agua que en las áreas vecinas de producción de secano favorecido. Cefñirse a un manejo preciso de la población, incluyendo transplante temprano, sería un grave error cuando los agricultores están obligados a transplantar plántulas de 50 días de edad. Por lo tanto, los fitomejoradores deben alternar los grados de precisión en el manejo de parcelas de una generación segregante a otra. Por ejemplo, el fitomejorador podría transplantar muy temprano la  $F_2$ , mantener un excelente control del agua y buena fertilización, y luego transplantar la  $F_3$  más tarde, controlar el agua irregularmente, y reducir la aplicación de fertilizante. Después de varias generaciones, esta mezcla de manejo ideal y deficiente de las parcelas suministrará la amplia adaptabilidad requerida para áreas con problemas, sin sacrificar el alto potencial de rendimiento

que pueden lograr los agricultores en condiciones de emplear un paquete tecnológico completo.

Sin embargo, el mejor procedimiento para tales situaciones es todavía discutible; el uso del sentido común es la única recomendación sensata que puede hacerse hasta el momento.

## Cruzamientos

Cuando se trata de mejorar el arroz es esencial un programa de cruzamientos de alto volumen y bases amplias. Las personas que dirigen dichos programas deben conocer claramente sus objetivos y prioridades, así como las características de las líneas y variedades más importantes. Algunos de estos caracteres están registrados en varios libros de campo, pero otros deben recordarse. El científico que memoriza tanta información como le sea posible, será mucho más efectivo al comparar y escoger progenitores.

Desafortunadamente, es imposible predecir el valor final de un cruce sin haber experimentado anteriormente con los progenitores. Cuando se cruzan líneas estrechamente relacionadas y morfológicamente similares con un progenitor común, con frecuencia difieren sustancialmente en la habilidad de combinación medida por la apariencia y el valor de la  $F_2$ .

Si el fitomejorador carece de experiencia previa con los progenitores, un enfoque razonable es aumentar el número de cruzamientos y rechazar estrictamente las poblaciones  $F_2$  inferiores. Esto aumentará grandemente la probabilidad de éxito. Por otra parte, si un progenitor en un cruce simple es deficiente, o si el cruce carece de algunas características importantes, un cruzamiento triple, un retrocruzamiento, o un cruzamiento doble darán invariablemente mejores resultados. Tales cruces múltiples pueden acelerar también la combinación de varias características en un genotipo.

## Tipos de cruzamientos

Los diversos tipos de cruzamiento y la selección de los progenitores son:

- **Cruzamiento simple.** Los cruces simples son la hibridación de una variedad o línea con otra variedad o línea. Seleccione el progenitor femenino con base en los objetivos del programa y en su conocimiento de los materiales disponibles. Seleccione tantos como sea posible para cada objetivo, preferiblemente de base genética diferente. Es

recomendable utilizar progenitores femeninos exóticos o no mejorados. Aunque el uso de progenitores femeninos mejorados es invariablemente más conveniente, esto da como resultado una base citoplásmica muy estrecha.

- **Retrocruzamiento.** Es el cruce de un  $F_1$  con uno de sus progenitores.
- **Cruzamiento triple (topcross).** Cruce de un  $F_1$  con otra variedad o línea.
- **Cruzamiento doble.** Es el cruzamiento de dos híbridos  $F_1$ .

## Procedimientos

Es necesario conocer los híbridos  $F_1$  así como las diversas variedades y líneas progenitoras. Antes de empezar el cruzamiento, anote el tipo de planta, madurez y otras características. La mayoría de los buenos fitomejoradores toman sus decisiones en el campo mientras están revisando las  $F_1$ . Esto requiere una familiaridad total con los progenitores de los cruces así como con aquellos disponibles para cruzamientos triples.

Los cruzamientos dobles y triples se emplean para aumentar las probabilidades de obtener segregantes deseables de materiales "difíciles" que se sabe o se sospecha son malos combinadores, y/o combinar características deseables de tres o cuatro padres diferentes. Como en los cruces simples, los cruzamientos dobles y triples siempre deben elegirse para características complementarias. Por estas razones, los retrocruzamientos normalmente se limitan a aquellos casos en que el progenitor recurrente es superior a otros arces disponibles para cruces triples. Por otra parte, si un progenitor esencial combina pobremente, el retrocruzamiento ofrece la mejor probabilidad de recuperar un tipo satisfactorio.

Es más seguro usar la  $F_1$  como progenitor masculino en un cruce triple porque la autofertilización puede ser más fácilmente detectada. No obstante, desde el punto de vista operacional, es mucho más conveniente utilizar la  $F_1$  como progenitor femenino porque el otro progenitor es probablemente un mejor productor de polen. Un buen procedimiento es emasculiar todas las  $F_1$  que florecen en un determinado día y luego decidir cuál es el progenitor masculino (de cruces triples) que mejor complementa a cada  $F_1$ , antes de polinizar al día siguiente.

Los cruzamientos dobles son algunas veces útiles para combinar un gran número de características deseables en un determinado cruce. Los cruzamientos dobles también pueden utilizarse cuando las principales diferencias de las características de los cuatro progenitores son mínimas y la meta es aumentar la variabilidad con la esperanza de recuperar un tipo altamente deseable. Muchos fitomejoradores consideran que los cruces triples son generalmente más útiles que los dobles.

El siguiente método empírico puede ser de utilidad para decidir sobre el tipo de cruzamiento:

1. Si uno de los progenitores de un cruce simple es o se cree pueda ser un mal combinador, emplee el retrocruzamiento.
2. Si ambos progenitores de un cruce simple son razonablemente buenos combinadores pero carecen de una o más características importantes, emplee el cruce triple.
3. Si ambos progenitores de un cruzamiento simple son razonablemente buenos combinadores pero carecen de características importantes, y no se dispone de un progenitor para el cruce triple que tenga todas las características deseadas, emplee el cruce doble.

## **Mantenimiento de progenitores**

Los progenitores se pueden cultivar en macetas grandes, anegadas, con capacidad para tres a cinco plantas normalmente desarrolladas. Las macetas deben tener una base sólida para reducir la pérdida de agua, y el nitrógeno debe aplicarse parcamente para evitar el acame. Tres plantas producirán una cantidad adecuada de semilla cruzada para casi todos los fines. Tres épocas de siembra de los progenitores a intervalos de 10 a 14 días deberían ser suficientes para asegurar una floración simultánea.

La planeación cuidadosa de los cruces reduce el número de padres utilizados en cualquier época a cerca de 50 o menos, y con tres épocas de siembra el número total de macetas se puede acomodar en un área pequeña. La mayoría de los programas carecen de los recursos para mantener continuamente un gran número de líneas y variedades en el campo para uso futuro como progenitores. Una buena alternativa es solicitar semilla parental específica a los centros internacionales o a cualquier otra fuente a medida que surge la necesidad.

El IRRI ha adoptado procedimientos específicos en sus programas extensivos de cruzamiento. Los cruces se efectúan a lo largo del año;

durante períodos de máxima necesidad se hacen más de 300 polinizaciones diarias. Mantener a los progenitores en macetas sería imposible, así que estos se cultivan en el campo en un bloque de hibridación (BH), el cual se siembra de cuatro a seis veces cada estación con intervalos de dos semanas. El BH se organiza en grupos de acuerdo con los objetivos del programa:

- Grupo I (General), variedades y líneas mejoradas del IRRI
- Grupo II (Internacional), variedades y líneas mejoradas de los programas nacionales
- Grupo III Características agronómicas y calidad de grano
- Grupo IV Resistencia a enfermedades e insectos
- Grupo V Contenido de proteína
- Grupo VI Resistencia a la sequía
- Grupo VII Tolerancia a problemas edáficos
- Grupo VIII Tolerancia a inundaciones y aguas profundas
- Grupo IX Tolerancia a la temperatura
- Grupo X Varios.

Las plantas progenitoras se transplantan del campo a macetas inmediatamente antes del cruzamiento y se descartan tan pronto como se cosecha la semilla híbrida. Aunque el transplante a macetas es algo ineficiente en términos de mano de obra, ahorra espacio en el invernadero y permite a los científicos evaluar los progenitores primero bajo condiciones de campo antes del cruzamiento. La evaluación de una planta en maceta es difícil, y a menos que el fitomejorador haya tomado notas cuidadosas durante la estación previa, puede haber olvidado las ventajas y desventajas de los diversos progenitores. Las líneas superiores identificadas en los ensayos de rendimiento o viveros de pedigrí también se pueden transplantar a macetas.

Es esencial mantener la pureza de los progenitores. El grano cosechado en masa de surcos o parcelas de pedigrí no debe emplearse para producir plantas para cruzamiento. El mejor procedimiento es seleccionar unas cuantas panículas y desgranarlas manualmente. La pureza de las plantas progenitoras se debe inspeccionar repetidamente antes del cruzamiento.

## **42 Mejoramiento de Arroz**

Los progenitores en las macetas se identifican por medio de rótulos que llevan el nombre de la variedad o, en el caso de una línea, el número del lote en donde fue sembrada. El parentesco y pedigrí de la línea puede consultarse fácilmente en los libros de campo. No es necesario asignar un sistema independiente de nomenclación a los progenitores en las macetas.

### **Dónde hacer el cruce**

El arroz es una especie fácil de cruzar si se siguen ciertos procedimientos básicos. El cruzamiento en el campo no es práctico debido a la dificultad de transportar el polen hasta las panículas emasculadas, la frecuencia con la cual las tijeras y otras herramientas caen en el agua, y el daño que sufren los cruces por enfermedades, insectos y roedores.

Aunque los invernaderos son ideales para cruzamientos ellos son esenciales únicamente cuando el clima limita el cultivo de los progenitores durante todo el año. Una casa de malla simple es un sustituto satisfactorio en los trópicos, en donde los invernaderos son costosos, a menudo muy calientes, y el espacio es limitado o no está disponible. Las paredes y el techo de una instalación para cruzamientos deben ser de malla para evitar el acceso de roedores y pájaros. El piso de la casa de malla debe ser de grava o concreto, y se debe disponer de agua para las macetas.

### **Emasculación**

La emasculación consiste en eliminar las anteras de las florecillas y se efectúa de varias formas. La planta emasculada sirve como progenitor femenino. Una técnica es matar el polen con aire caliente o agua caliente de un termo. Las espiguillas individuales permanecen abiertas por varios minutos después de extraer la panícula del termo; la polinización tiene lugar antes de que las espiguillas se cierren. Este método tiene muchas desventajas: a) es lento y la formación de semilla es relativamente baja; b) el tallo a menudo se quiebra al doblarlo para insertar la panícula dentro del termo; c) el polen debe estar disponible inmediatamente y se debe introducir en las espiguillas individuales antes de que se cierren las glumas; y d) cuando el polen no está disponible de inmediato, la espiguilla se debe cortar y reabrir a la fuerza.

La técnica de emasculación más simple y eficiente es cortar las espiguillas y remover las anteras remanentes con tijeras o aspirándolas. La Figura 14 muestra algunos de los materiales requeridos:

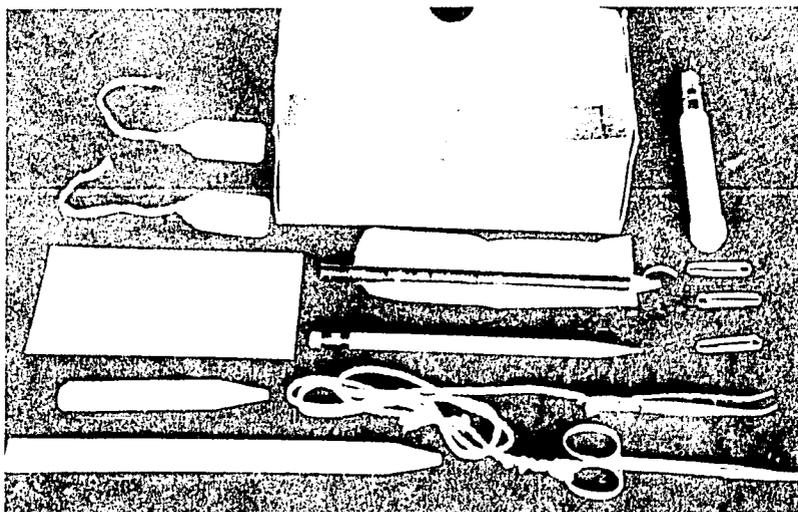
- tijeras pequeñas, afiladas, puntiagudas, y de buena calidad,

- pinzas depiladoras finas (no afiladas),
- emasculador al vacío (opcional),
- delantal con bolsillos o una pequeña caja para llevar rótulos, bolsas y lápiz,
- sujeta-papeles,
- bolsas de papel cristal de 5 x 15 cm,
- lápiz o marcador,
- etiquetas para las macetas,
- rótulos, y
- un banco.

A continuación se describen los pasos y puntos claves del procedimiento de emasculación utilizado en el IRRI y en el CIAT.

**Pasos y puntos claves en la emasculación.**

Pasos	Puntos clave								
<b>1</b>									
Selección de progenitores	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Selección según los objetivos del programa.</li> <li>- Haga una lista de los arrozces que se van a emascular</li> <li>- Determine el número de panículas:               <table style="margin-left: 20px; border: none;"> <tr> <td>cruce simple</td> <td>2 panículas/cruce</td> </tr> <tr> <td>cruce triple</td> <td>7 panículas/cruce</td> </tr> <tr> <td>retrocruzamiento</td> <td>7 panículas/cruce</td> </tr> <tr> <td>cruce doble</td> <td>11 panículas/cruce</td> </tr> </table> </li> </ul>	cruce simple	2 panículas/cruce	cruce triple	7 panículas/cruce	retrocruzamiento	7 panículas/cruce	cruce doble	11 panículas/cruce
cruce simple	2 panículas/cruce								
cruce triple	7 panículas/cruce								
retrocruzamiento	7 panículas/cruce								
cruce doble	11 panículas/cruce								
<b>2</b>									
Selección individual de plantas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cada planta deberá ser sana y representativa de la variedad o línea.</li> <li>- Retire la planta de la parcela cortando el lodo alrededor de la base con una navaja o una hoz.</li> <li>- Identifique la planta con el nombre y número de la parcela.</li> <li>- Siembre la planta en una maceta agregando la tierra y agua necesarias, por lo menos seis horas antes de la emasculación, para permitir la recuperación en caso de marchitez (Fig. 15).</li> </ul>								



14 *Materiales requeridos para los cruzamientos.*



15 *Siembra de una planta para cruzamiento en una maceta después de removerla del fango con una hoz.*

**Pasos y puntos claves en la emasculación (continuación)**

Pasos	Puntos clave
<p><b>3</b> Selección de panículas individuales</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las panículas deben haber emergido en un 50 a 60% (Fig. 16).</li> <li>- Separe cuidadosamente la panícula seleccionada de las otras para facilitar la labor. Remueva la vaina de la hoja. No quiebre el tallo.</li> </ul>
<p><b>4</b> Remoción de las florecillas superiores e inferiores</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Corte con las tijeras todas las florecillas superiores que ya han sufrido anthesis (extrusión de anteras). Corte las florecillas jóvenes de la base de la panícula en donde la altura de las anteras es inferior a la mitad de la flor.</li> </ul>



16

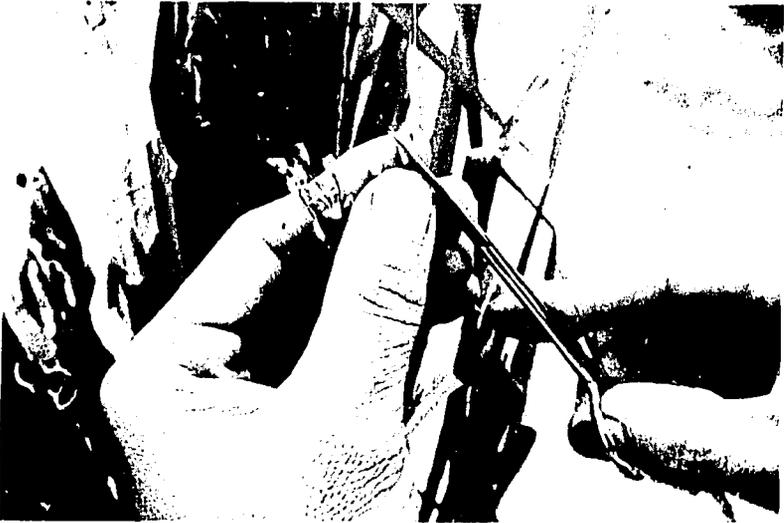
*Paniculas en estado adecuado para emasculación emergidas en un 50-60%.*

**Pasos y puntos claves en la emasculación (continuación)**

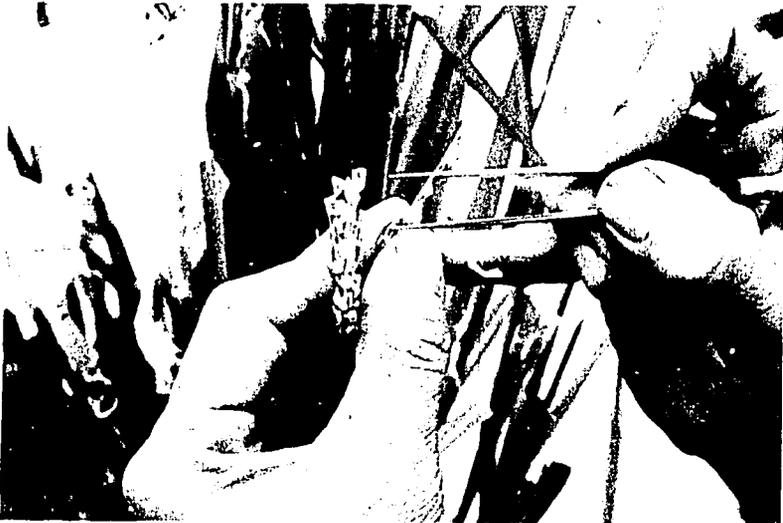
Pasos	Puntos clave
<p><b>5</b> Corte de florecillas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Corte oblicuamente con las tijeras una tercera parte a la mitad de la florecilla para exponer las anteras (Fig. 17). Si las anteras se van a remover con el depilador es preferible cortar de través cada florecilla y la mayoría o todas las anteras.</li> <li>- No dañe el estigma cortando demasiado bajo.</li> <li>- Si el corte es muy alto la emasculación es difícil y el polen puede no llegar al estigma durante la polinización.</li> </ul>
<p><b>6</b> Remoción de anteras</p>	<p>Con depilador:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Con la punta de un depilador presione suavemente las anteras contra un lado de la flor y sáquelas (Fig. 18)</li> <li>- Sea sumamente cuidadoso para no dañar el estigma.</li> <li>- Asegúrese de retirar las seis anteras.</li> </ul> <p>Al vacío:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste el emasculador al vacío (Fig. 19) para una succión de 500 mm Hg. La succión excesiva puede dañar el estigma.</li> <li>- Toque la florecilla con la punta del extractor (Fig. 20). Suavemente inserte la punta hasta que oiga que se interrumpe el paso del aire al extraer la antera.</li> <li>- Asegúrese de retirar las seis anteras.</li> </ul>
<p><b>7</b> Identifique las bolsas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifique las bolsas de papel cristal despues de haber emasculado todas las florecillas en la panícula.</li> <li>- Marque en la bolsa la fecha de emasculación y sus iniciales.</li> </ul>
<p><b>8</b> Cubrimiento de la panícula</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cubra la panícula con la bolsa de papel cristal.</li> <li>- Doble los bordes inferiores.</li> </ul>

**Pasos y puntos claves en la emasculación (continuación)**

Pasos	Puntos clave
<p>8 Cubrimiento de la panícula (continuación)</p>	<p>- Sujete la parte doblada contra el pedúnculo por medio de un sujetapapeles, para mantener la bolsa bien segura en su lugar (Fig. 21).</p>



17 *Corte de las florecillas para exponer las anteras.*



18 *Remoción de las anteras con depilador.*



19 *Emasculador al vacío completamente acondicionado.*



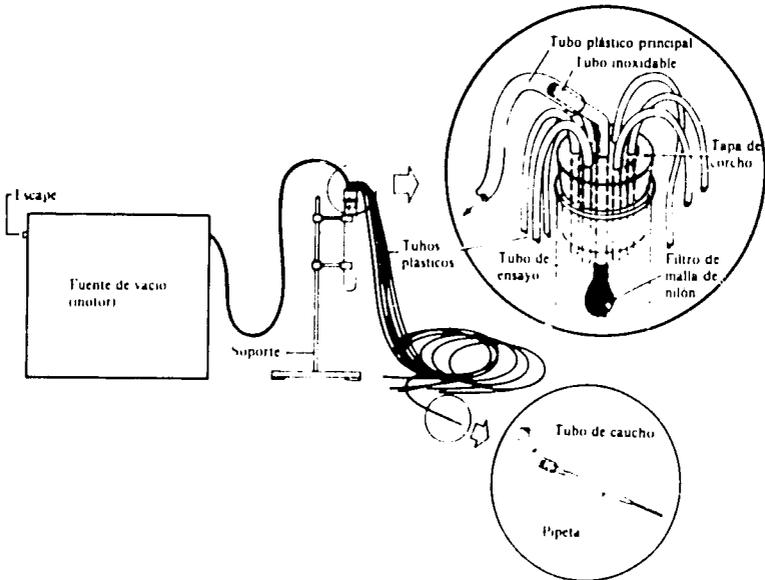
20 *Remoción de las anteras al vacío.*

El emasculador al vacío es un aparato sencillo de construir (Fig. 22), que aumenta la eficiencia y rapidez de la emasculación. Si los componentes no se encuentran localmente, pueden solicitarse al IRRI.



21

*Después de la remoción de las anteras, la panícula se cubre con una bolsa marcada con la fecha y las iniciales del emascudador.*



22

*El emascudador al vacío es simple y económico de construir. Un motor de  $\frac{1}{4}$  hp opera cerca de 6 tubos.*

## Polinización

En muchas áreas, la antesis, o esparcimiento del polen, empieza una o dos horas antes del medio día y dura cerca de dos horas; en otras áreas, las flores comienzan a dejar caer el polen inmediatamente antes del medio día. La hora es más bien variable, dependiendo de la temperatura y la luz. Los días fríos, oscuros o lluviosos retardan o impiden temporalmente la antesis. La emasculación es arriesgada en las primeras horas de la mañana antes de que el polen normalmente comience a caer. Es mucho más seguro cortar las espiguillas en horas avanzadas de la tarde, después del período normal de antesis, porque esto disminuye la posibilidad de que las anteras aborten inadvertidamente durante el corte y autofecunden las plantas. En la mañana siguiente, cuando empiece la antesis, corte una panícula en floración del progenitor masculino y llévela a la panícula emasculada. Se requieren los mismos materiales que para la emasculación, más etiquetas de cruzamiento (véase la siguiente sección "Preparación de etiquetas de cruzamiento") y un lápiz para marcarlas.

### Pasos y puntos claves en la polinización

Pasos	Puntos clave
<b>1</b> Organización de los progenitores femeninos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coloque las macetas para facilitar el acceso a ellas durante la polinización. Un círculo grande o semicírculo es usualmente lo mejor.</li> <li>- Inspeccione las panículas emasculadas en busca de anteras que hayan quedado y corte un poco más cualquier florecilla cuya abertura sea pequeña.</li> <li>- Si dos panículas de una misma planta se van a polinizar con el mismo padre, una los dos tallos con una de las bolsas y asegúrelos con un sujetapapel. Coloque la otra bolsa sobre ambas panículas.</li> </ul>
<b>2</b> Recolección de panículas portadoras de polen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espere suficiente tiempo para recoger las panículas portadoras de polen antes de que empiece la antesis, según el tiempo y la cantidad de trabajo a realizar.</li> <li>- Las etiquetas de cruzamiento deben estar listas y agrupadas por el progenitor masculino (Fig. 23).</li> </ul>

**Pasos y puntos claves en la polinización (continuación)**

Pasos	Puntos clave
<b>2</b> Recolección de panículas portadores de polen (continuación)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tome por lo menos una panícula para cada etiqueta.</li> <li>- Seleccione las panículas de plantas representativas y sanas.</li> <li>- Seleccione las panículas que tengan un gran número de florecillas en floración; varias florecillas de la parte superior tendrán las anteras expuestas (Fig. 24).</li> <li>- Corte el tallo a una longitud conveniente por debajo de la panícula y remueva la hoja bandera.</li> </ul>
<b>3</b> Agrupamiento de panículas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agrupe todas las panículas de cada progenitor masculino y asegúrelas con una banda de caucho.</li> <li>- Ponga una etiqueta apropiada a cada grupo de panículas.</li> <li>- Corte los tallos del mismo largo.</li> </ul>
<b>4</b> Colocación de las panículas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Traslade las panículas del campo al área de polinización.</li> <li>- Colóquelas en macetas con agua en el centro del círculo de las plantas femeninas, donde la circulación del aire es mínima y el acceso fácil.</li> <li>- Arregle las panículas de tal forma que se pueda retirar cualquiera de ellas sin molestar a las otras (Fig. 25).</li> </ul>
<b>5</b> Observación de las panículas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Observe cuando se presenta la extrusión de anteras (Fig. 26).</li> <li>- Empiece la polinización tan pronto como sea posible, y trabaje rápidamente para aprovechar el período de máxima producción de polen.</li> </ul>
<b>6</b> Aplicación del polen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remueva la bolsa de la florecilla femenina.</li> <li>- Suavemente saque la panícula en floración del agua y sacúdala sobre la florecilla emasculada (Fig. 27).</li> </ul>



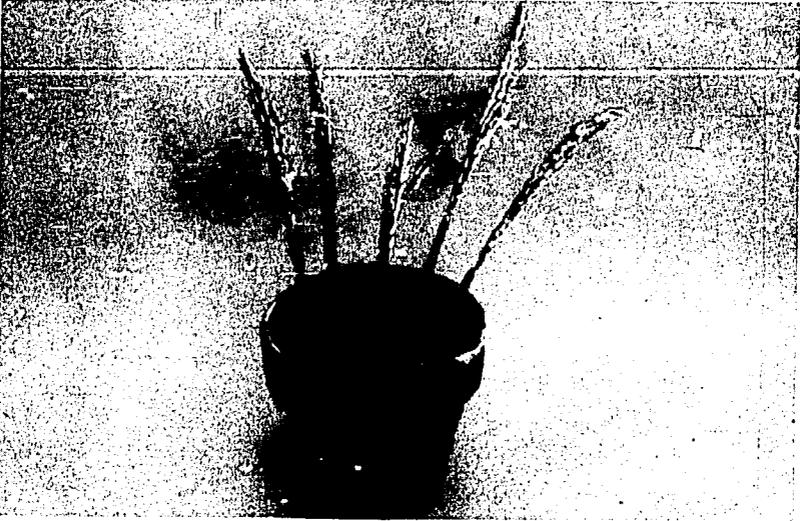
23

*Etiquetas de cruzamiento preparadas y clasificadas según el progenitor masculino, antes de la polinización.*



24

*Una panícula que tendrá un gran número de florecillas polinizadas en las horas tardías de la mañana. Observe la extrusión de las anteras que cuelgan de las florecillas superiores.*



25

*Las paniculas se arreglan en macetas con agua de tal forma que se pueda retirar cualquiera de ellas sin perturbar a las demás.*



26

*Cuando las anteras salen, la panicula está lista para usarse en la polinización.*



27

*La panicula se saca del agua suavemente y se sacude sobre las florecillas emasculadas.*

**Pasos y puntos claves en la polinización (continuación)**

Pasos	Puntos clave
<b>7</b>	
Colocación de la bolsa de papel cristal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cubra la panícula con la bolsa</li> <li>- Doble la parte inferior.</li> <li>- Coloque un sujetapapeles para mantener segura la bolsa contra el pedúnculo.</li> </ul>
<b>8</b>	
Identificación con la etiqueta de cruzamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vea "Preparación de las etiquetas de cruzamiento" (sección siguiente).</li> <li>- Amarre el cordón de la etiqueta al tallo.</li> <li>- Fije la etiqueta con el mismo sujetapapeles que empleó para la parte inferior de la bolsa (Fig. 28).</li> </ul>
<b>9</b>	
Protección de macetas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las macetas se deben resguardar del viento y la lluvia, pero deben recibir buena radiación solar.</li> <li>- Las macetas deben quedar a salvo de ratas, pájaros y plagas.</li> </ul>

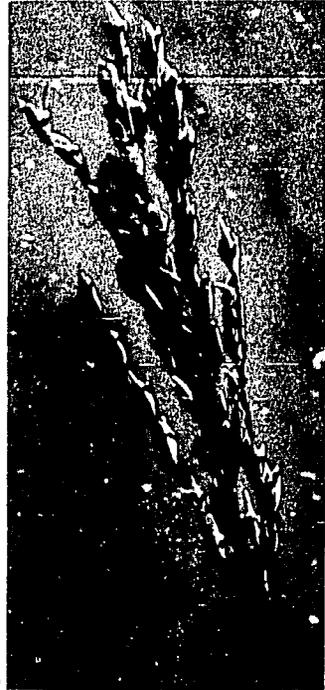
Los estigmas de las florecillas emasculadas permanecen receptivos por lo menos durante cinco días, de tal manera que las plantas se pueden polinizar en las mañanas subsiguientes si no hay polen disponible o si la cantidad parece insuficiente. La posibilidad de polinizar una panícula emasculada en días sucesivos, si es necesario, es una de las principales ventajas de la emasculación por corte.

El método de emasculación por corte seguido por una polinización masal es rápido y eficiente. La formación de semillas deberá alcanzar 50% o más si la técnica es buena.

El ovario deberá empezar a hincharse en tres o cuatro días, lo que indica que la polinización fue exitosa. La semilla cruzada está madura cuando ha perdido su color verde - usualmente 25 días después de la polinización (Fig. 29). En ese momento, corte las panículas, desgrane las semillas con la mano, y remueva las glumas remanentes. Cuente las semillas descubiertas y colóquelas en sobres pequeños. Marque los sobres con los nombres o identificaciones de la línea de los dos progenitores y el número de semillas obtenidas del cruce. Sujete la etiqueta de cruzamiento al sobre con una cosedora.



28 *Las etiquetas de cruzamiento y las bolsas se aseguran firmemente con un sujetapapeles.*



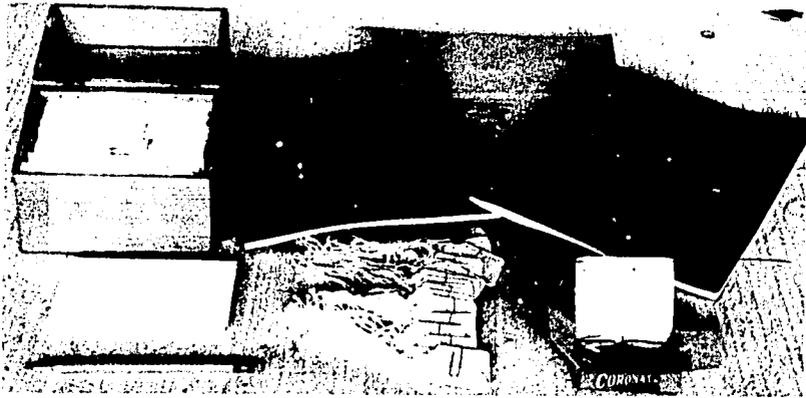
29 *La semilla cruzada está madura cuando pierde su color verde.*

Las semillas en desarrollo cubiertas incompletamente por las glumas cortadas, aunque son viables, son de forma anormal y a menudo tienen una latencia más prolongada que los granos totalmente descubiertos del progenitor femenino. Rompa la latencia colocando las semillas cruzadas en un horno de aire seco durante siete días, a una temperatura de 50 a 55°C; luego almacénelas en un cuarto frío o refrigerador.

### **Preparación de las etiquetas de cruzamiento**

Identifique todas las panículas usadas para los cruces por medio de una etiqueta que se debe dejar permanentemente. Evite la duplicación manteniendo un diario de cruces en un tarjetero. La figura 30 muestra el material requerido:

- etiquetas blancas o de color, de 3 x 4 cm, provistas de un hilo,
- lápiz de dureza media (No. 2 ó 2½),
- manuales de campo, y
- un diario de cruces en un tarjetero.



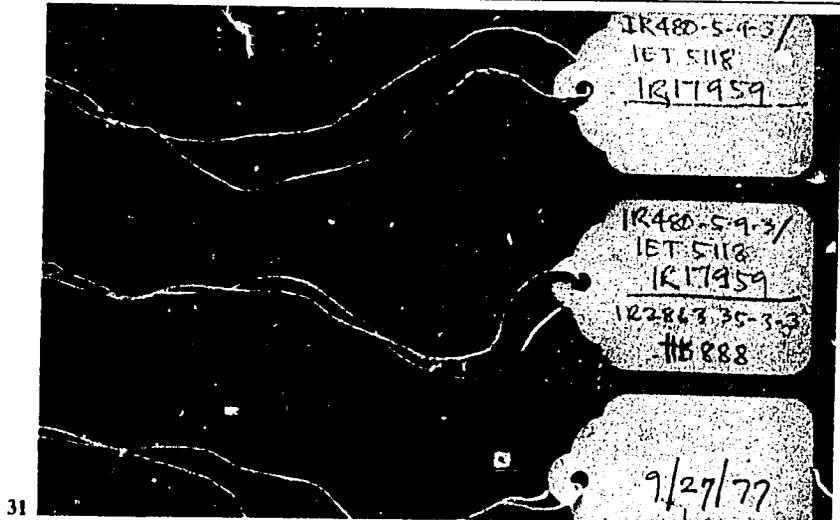
30 *Materiales requeridos para preparar las etiquetas de cruzamientos.*

**Pasos y puntos claves en la preparación de las etiquetas de cruzamiento**

Pasos	Puntos clave
1 Marcación previa de las etiquetas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mantenga las etiquetas a mano antes de empezar el cruzamiento.</li> <li>- En una cara identifique el lugar, estación, y año (si es necesario), y selle o escriba la fecha de polinización.</li> </ul>
2 Identificación del progenitor femenino	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En la mitad superior del envés escriba el nombre y fuente del progenitor femenino.</li> <li>- Trace una línea entre la madre y el padre para evitar confusión cuando ambos tienen un pedigrí largo.</li> </ul>
3 Identificación del progenitor masculino	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usualmente es más fácil preparar primero todas las etiquetas necesarias para cada madre y agregar el nombre y origen del padre en la mitad inferior de la etiqueta (Fig. 31).</li> <li>- Las designaciones se escriben únicamente en una etiqueta para un cruce dado. Los números de origen son suficientes para etiquetas adicionales.</li> </ul>
4 Anotación del diario de cruces en un tarjetero	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La Fig. 32 ilustra una de estas tarjetas.</li> <li>- Haga una tarjeta para cada madre; anote la designación y el origen en la parte superior.</li> </ul>

**Pasos y puntos claves en la preparación de las etiquetas de cruzamiento**  
(continuación)

Pasos	Puntos clave
<b>4</b> Anotación del diario de cruces en un tarjetero (continuación)	- Numere todos los padres cruzados con dicha madre e indique el nombre, origen y fecha de polinización.
<b>5</b> Uso de las etiquetas para polinización	- Adhiera la etiqueta de cruzamiento a la bolsa del progenitor femenino polinizado.
<b>6</b> Cosecha	- Conserve la etiqueta con la panícula durante la cosecha y desgrane. Cosa la etiqueta completa al sobre con la semilla (Fig. 33).



31 Pasos en la preparación de las etiquetas de cruzamiento que muestran el progenitor femenino (arriba), el progenitor masculino (centro), y la fecha de polinización escrita en el envés de la etiqueta (abajo).

IET 5236 / 1R2307-217-2-3	1R17922
1. 1R2307-247-2-2-3	HB721 9-11-77
2. 1R9129-192-2	RYT 1880 9-13-77
3. 1R7149-35-2-3-2	RYT 1852 11

32 Tarjeta del archivo de cruzamientos.



33 Sobres con semilla  $F_1$ . Las etiquetas de cruzamiento se adjuntan a los sobres para su identificación.

## Numeración de cruzamientos

El sistema ideal para identificar los cruces es numerarlos consecutivamente y continuar la numeración indefinidamente. Este procedimiento evita confusiones que surgen si la numeración se repite cada año. Con una numeración consecutiva, los cruces nunca llevan el mismo número y el pedigrí no se complica con los números referentes al año o estación del cruce. Todos los números del cruce van precedidos por una letra mayúscula que identifica el programa. Por ejemplo, el CIAT usa el prefijo P y el IRRI, el prefijo IR. Así, la identificación P752 designa el cruce como el número 752, realizado desde la iniciación del programa del CIAT.

Todos los retrocruzamientos, ya sean simples o repetidos, y todos los cruces triples, reciben un nuevo número. Así, si un cruzamiento simple P752 es A/B, el retrocruzamiento  $A^2/B$  recibirá el siguiente número disponible. De igual manera, cuando se efectúa un segundo retrocruzamiento se asigna un nuevo número de cruce. El número de cruzamiento se da únicamente después de cosechar, desgranar y colocar la semilla cruzada en sobres pequeños.

## Designación de cruzamientos

Usualmente, se escribe primero el progenitor femenino seguido por el masculino. Los fitomejoradores de arroz usan además de esta convención muchas variaciones del sistema básico de designación de cruces. Todas tienen ciertas ventajas pero algunas son mejores que otras. Cada

fitomejorador deberá seleccionar y mantener el sistema que más le convenga. Los siguientes dos sistemas se han utilizado para designar los cruces en el IRRI; el primero se empleó durante una década, pero fue sustituido por el segundo, que es mucho más sencillo.

	Primer Sistema	Segundo Sistema
Cruce simple	A x B	A/B
Retrocruzamiento	A/2xB	A <sup>2</sup> /B
Cruce triple	(AxB) x C	A/B//C
Cruce cuádruple	(AxB) x (Cx D)	A/B//C/D
Cruce compuesto (([(Ax B) x C] x DxE)) x F		A/B//C///D/4/E/5/F

El segundo sistema reemplaza el símbolo x con el símbolo / para ordenar cronológicamente los cruzamientos así:

Orden cronológico de cruces	Símbolo
1	/
2	//
3	///
4	/4/
5	/5/
retrocruzamiento	exponente

Los dos sistemas son razonablemente manejables para cruzamientos simples hasta cuádruples o dobles, pero las designaciones de cruces compuestos son relativamente complejas en ambos sistemas y pueden conducir a errores en los libros de campo. Los fitomejoradores en el programa del CIAT, el cual involucra muchos cruzamientos compuestos, anotan únicamente los números de cruces en el encabezamiento de cada página de las líneas pedigrí para reducir la complejidad de los libros de campo. Por ejemplo, si un cruce comprende una selección de [(Ax B)x C] x [D (=P1083)] cruzada con la variedad E, este cruce se designa en el libro de campo como P1083xE. Similarmente, [(Ax B) x C] x [D x E] x F se escribe simplemente P1083 x P1381. En estos ejemplos los parentescos completos de P1083, P1013, P1381, etc., están anotados en la cubierta interior del libro de campo, de tal forma que la información sobre los progenitores de cada cruce se puede obtener directamente en el campo.

Otros dos sistemas de designación de cruces que merecen mencionarse son el del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), y el del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA):

	Sistema del CIMMYT	Sistema del USDA
Cruce simple	A-B	A/B
Retrocruzamiento	A <sup>2</sup> -B	A*2/B
Cruce triple	A-BxC	A/B//C
Cruce cuádruple	A-BxC-D	A/B//C/D
Cruce compuesto	[(A-BxC/D) E] F	A/B//C///D/4/E/5/F

El sistema del CIMMYT es fácil de leer y escribir, mientras que el de USDA es compatible con computadores.

Como el IRRI recientemente cambió por el mantenimiento de registros por computadora, adoptó también el sistema USDA. El nuevo sistema del IRRI difiere del anterior únicamente en la designación de retrocruzamientos:

	Sistema previo del IRRI	Nuevo sistema del IRRI (Sistema del USDA)
Retrocruzamiento a la madre	A <sup>2</sup> /B	A*2/B
Retrocruzamiento al padre	A/B <sup>2</sup>	A/2*B

Observe que el número de dosis (número de retrocruzamientos más uno) se coloca siempre a continuación del símbolo de cruces. Esto llega a ser crítico con cruces complejos. A/2\*B//C significa que A se cruzó con B, la F<sub>1</sub> fue retrocruzada con B, y la progenie se cruzó con C.

### Libro o historia de cruces

Los libros de cruzamientos se preparan por triplicado agregándoles nuevas páginas para cada grupo de cruces. Archive siempre las tres copias en diferentes lugares como precaución contra pérdidas. Registre la siguiente información para cada cruce: número de cruce, nombres varietales o padres y pedigrí de ambos progenitores, números de identificación de las macetas de ambos padres, y número de semillas obtenidas del cruce.

Por ejemplo:

No. de cruce	Progenitor	Progenitor	Origen de los progenitores	No. de semillas
P752	CICA 4	x (Col. 1 x IR8)	6281    6418	31
		P384-138-3-1-3		

La misma información se registra para los retrocruzamientos. Por ejemplo, si el cruce P752 se retrocruza a CICA 4, el libro de retrocruzamientos debería mostrar:

No. de cruce	Progenitor	Progenitor	Origen de los progenitores		No. de semillas
P985	CICA 4	$F_1$ [CICA 4 x (Col. 1 x IR8)]	6281	P752	118
		P 752			

Abrevie los nombres parentales para cruces con progenitores con nombres largos y líneas multiparentales derivadas de varios progenitores. Así, Bluebonnet 50 x Century Patna 231 pueden escribirse Bbt 50 x Cp 231.

## Número de cruzamientos

Los investigadores de arroz tradicionalmente han hecho menos cruces que los fitomejoradores de otros cereales. Un programa en el cual se hacen 100 cruzamientos por año es considerado moderadamente grande; el IRRI, que probablemente tiene el programa más grande del mundo, promedió cerca de 200 cruces por año durante sus primeros 10 años. En años recientes, las 16 principales estaciones de mejoramiento en el Japón totalizaron cerca de 800 cruces por año, un promedio de 50 cruces por estación.

Aunque un número específico de cruzamientos no distingue un programa vigoroso de uno moderadamente activo, un número inferior a 20 ó 30 cruces por año en una localidad sugiere la necesidad de reevaluar los objetivos y actividades del programa. Los programas que pueden hacer únicamente unos pocos cruces podrían fusionar sus programas de mejoramiento con aquellos de otras estaciones para formar centros regionales de cruzamientos. Las estaciones experimentales con recursos humanos o financieros muy limitados deberían considerar la posibilidad de concentrarse exclusivamente en poblaciones segregantes y líneas suministradas por centros más grandes hasta que sus instalaciones y recursos permitan programas más activos de cruzamientos.

Aún no está completamente claro por qué el IRRI, por ejemplo, hizo inicialmente menos cruces (menos del 10%) que el programa de trigo del CIMMYT. Tampoco es cierto que la filosofía de los investigadores de arroz de hacer pocos cruzamientos y obtener grandes poblaciones es completamente desventajosa. Una posible explicación para esta diferencia básica de enfoques entre los científicos arroceros y trigueros es que la

segregación es extraordinaria en la  $F_2$  de la mayoría de los cruces. Esto obliga a evaluar grandes poblaciones para encontrar relativamente pocos recombinantes deseables, lo que a su vez controla el número de cruces que se puede manejar. Así, el número total de plantas  $F_2$  evaluadas en los programas grandes de arroz y trigo es más o menos el mismo a pesar de la disparidad en el número de cruzamientos. Una forma de aumentar los cruces concentrando simultáneamente la selección en mejores poblaciones de arroz, es no avanzar plantas altas  $F_1$  a  $F_2$ . Las plantas altas heterocigotas  $F_1$  producirán un número predecible de segregantes enanos  $F_2$  pero, debido a la competencia, las enanas son difíciles de encontrar y seleccionar. De aquí que la  $F_1$  de cruzamientos simples altos x enanos puede usarse únicamente para retrocruzamientos o para cruces triples con progenitores enanos, para producir una nueva  $F_1$  que segregará plantas altas y enanas en la proporción de 1:1. Al avanzar solamente las plantas enanas  $F_1$  de retrocruzamientos a la  $F_2$  se elimina una gran cantidad de trabajo de campo, lo que permite aumentar el número total de cruces.

A título ilustrativo, supongamos que la variedad B es una fuente excelente de resistencia a una enfermedad pero con mal tipo de planta y calidad de grano. La variedad resistente B se cruza con una enana mejorada A, pero susceptible, para obtener el cruce simple  $A \times B$ . Esta  $F_1$  únicamente se retrocruza a la A. La  $F_1$  del retrocruzamiento  $A^2 \times B$  segregará 50% de plantas enanas, y únicamente las mejores se llevan al campo para producir poblaciones  $F_2$ . Las plantas altas  $F_1$  se descartan. O sea que todas las familias  $F_2$  serán uniformemente enanas y la mayoría poseerán grano aceptable. Si no se evalúan como plantas  $F_1$  del retrocruzamiento, estas familias se prueban para determinar cuáles son portadoras de resistencia.

Aparte de esta técnica, la inversión relativamente pequeña requerida para hacer cruces adicionales sugiere que los fitomejoradores de arroz deberían ampliar su programa de cruzamientos. Un mayor número de cruces triples y dobles aumentará la diversidad genética. La selección estricta de la  $F_1$ , y particularmente de la  $F_2$ , mantendrá constante el volumen total del material en el campo aumentando simultáneamente la probabilidad de más combinaciones deseables.

Dos principios de validez reconocida indujeron al IRRI a expandir recientemente su programa de cruzamientos de tal forma que en 1977 se efectuaron casi 5000 cruces por año. El primer principio es que el ligamiento es un impedimento grave de la combinación de muchos caracteres críticos que diferencian los progenitores en la mayoría de los cruces de arroz. Un alto volumen de cruces favorece el rompimiento de ligamientos desfavorables, debido a que la frecuencia con la cual se rompen los ligamientos es proporcional al grado de heterocigocidad de un

genotipo. La abundancia de cruzamientos triples y cuádruples o dobles de híbridos  $F_1$  perpetúan la heterocigocidad, reduciendo los ligamientos. La segunda razón para un alto volumen de cruzamientos es la dificultad de predecir la habilidad de combinación. Por razones desconocidas, algunos progenitores combinan bien en unos cruces mientras que en otros no. La habilidad de combinación de un progenitor promisorio no se puede determinar hasta tanto no se hagan varios cruces y se evalúen las generaciones tempranas.

El número de semillas que se obtiene de cada cruce simple depende de la fertilidad de la  $F_1$  y el tamaño deseado de la  $F_2$ . Cuando la  $F_1$  es fértil, cada planta produce normalmente por lo menos 10 panículas, con un mínimo de 100 semillas por panícula. Por consiguiente, si un fitomejorador produce de 15 a 20 semillas cruzadas, dispondría de suficientes plantas  $F_1$  para establecer una población  $F_2$  grande. Cuando la  $F_1$  es parcialmente estéril, se requiere un número de semillas cruzadas proporcionalmente mayor. Las poblaciones  $F_1$  de retrocruzamientos o cruces triples requieren invariablemente muchas más semillas que los cruces simples (véase Mejoramiento por Retrocruzamiento, Cap. 2).

## Cultivo y manejo de la $F_1$

Después de que se rompe la latencia, proteja las semillas  $F_1$  espolvoreándolas ligeramente con cualquier fungicida estandar, excepto aquellos que contengan mercurio o que reduzcan la viabilidad durante el almacenamiento prolongado. Ponga las semillas a germinar en papel filtro húmedo en platos petri (Fig. 34); de esta forma, germinará más del 90% de las semillas  $F_1$  descubiertas. Nunca siembre la semilla directamente en el suelo porque carecen de la protección de la cáscara. Mantenga los platos petri a cerca de 30°C en un germinador; si no dispone de un germinador, manténgalos a la temperatura ambiente en una mesa en el laboratorio. Si las poblaciones  $F_1$  se van a cultivar hasta la madurez en macetas (lo cual es recomendable para programas pequeños), déjelas en los platos petri hasta alcanzar el estado de una hoja (de 7 a 10 días), y luego transplántelas directamente a las macetas con suelos fangueados. Después del trasplante, identifique las macetas con estacas de madera pequeñas que contengan el número de cruce y déjelas en la sombra por uno o dos días para evitar la escaldadura solar.

El procedimiento en el CIAT y en el IRRI es ligeramente diferente, ya que debido al gran número de cruces, todas las plantas  $F_1$  se cultivan en el campo. Primero se incuban las semillas en platos petri hasta que el hipocótilo ha desaparecido, y luego se transplantan a surcos separados 10 cm en cajones con tierra húmeda.



34 *Semilla  $F_1$  germinada en el estado apropiado para transplantarla a los semilleros de cajón.*

Mantenga los cajones a la sombra durante una semana o hasta que las plántulas estén bien establecidas, y luego trasládelas a una casa de malla cubierta con vidrio para exponerlas a la luz solar. Si solamente se dispone de un invernadero cerrado, es recomendable colocar las plántulas al aire libre durante cinco días antes de transplantarlas. Cuando las plántulas tengan cerca de 20 días de edad, lleve los cajones al campo, arranque las plántulas y replante inmediatamente en suelo fangueado. Seleccione con cuidado el suelo en los cajones o en el campo porque los híbridos son sensibles a deficiencias de elementos menores, probablemente debido al tamaño reducido de la semilla.

Inspeccione las plantas  $F_1$ , antes y después de la floración, para detectar las que se han autofertilizado. Las plantas que no son cruces fértiles pueden identificarse por la manifestación de cualquier carácter de herencia simple o comparándolas con plantas del progenitor femenino del cruce. Una vez que se han destruido las plantas autofecundadas, el grano de todas las plantas  $F_1$  de cada cruce simple usualmente se cosecha y se mezcla para producir la población  $F_2$ . La integridad de cada planta  $F_1$  puede transmitirse a la  $F_2$  desgranando y sembrando individualmente la semilla de las plantas  $F_1$ . Esta práctica ocasiona problemas de siembra y normalmente no justifica el trabajo adicional para cruces simples.

Debido a la dificultad de estimar el valor de un cruzamiento simple por la apariencia de la  $F_1$ , muchos fitomejoradores llevan los cruces simples a la  $F_2$  sin seleccionar la población  $F_1$ , a menos que un cruce sea obviamente de

valor. Este procedimiento común debería ser evaluado cuidadosamente. Se ha discutido la ventaja de descartar las plantas  $F_1$  que son heterocigotas por altura o indeseables por otras razones después de hacer retrocruzamientos o cruces triples. Igualmente, los cruces simples amplios ocasionan problemas inmensos en la selección de la  $F_2$ . De aquí que a menudo sea más recomendable usar dichas plantas  $F_1$  de cruces simples únicamente para más cruzamientos. Asimismo, no hay razón para avanzar las plantas  $F_1$  de cruzamientos simples relativamente estrechos que tienen defectos obvios tales como grano inferior o tallos extremadamente angostos.

La  $F_1$  de cruces triples y retrocruzamientos se maneja diferentemente debido a que las plantas segregan dentro de cada combinación. Así, las plantas en el sistema pedigrí no se deben mezclar como en los cruces simples. Las plantas  $F_1$  de cada retrocruzamiento o cruce triple se numeran consecutivamente. Las identificaciones de pedigrí consisten del número de cruce seguido por el número de las plantas individuales. Por ejemplo, si el cruce P985 tiene 118 plantas retrocruzadas  $F_1$ , se conservan todas las buenas. Cada una se cosecha, se numera, se desgrana y se siembra individualmente, como una familia discreta de  $F_2$ .

### Vigor híbrido

El vigor híbrido o heterosis se observa en las plantas  $F_1$  de casi todos los cruces y en algunas es bastante acentuado. Unos pocos experimentos, sin repeticiones, con poblaciones pequeñas que se transplantaron con un espaciamiento amplio han mostrado grandes valores heteróticos para muchas características de las plantas, incluido el rendimiento. Esto ha suscitado un interés esporádico en el posible valor comercial de las plantas  $F_1$ . Alguna vez se propuso la idea nada práctica de producir suficientes plantas  $F_1$  para el uso de pequeños agricultores transplantando macollas de las plantas.

En un estudio detenido sobre la heterosis llevado a cabo en el IRRI, las variedades japónicas ponlai se cruzaron con BPI-76, una variedad índica mejorada. Se sembraron suficientes semillas del cruce de la población fértil  $F_1$  en parcelas repetidas, con espaciamientos cortos y dosis variables de nitrógeno. Aunque el crecimiento de las plantas fue altamente heterótico, del macollamiento a la floración, el rendimiento no lo fue. La adición de nitrógeno aumentó el vigor vegetativo y disminuyó el rendimiento. El crecimiento vegetativo denso redujo la penetración de la luz y aumentó el sombriío mutuo, evitando que aumentara la producción de grano. Esto sugiere que la investigación sobre la heterosis del rendimiento es inútil si los híbridos no tienen un tipo ideal de planta.

No obstante, la heterosis puede tener algún valor potencial en el mejoramiento del arroz. El vigor híbrido útil probablemente se manifestará bajo condiciones agronómicas mejoradas en cruzamientos entre progenitores enanos no relacionados. Si esto es así, sería posible desarrollar un sistema efectivo corrector de la esterilidad. La esterilidad masculina se ha observado en el arroz, siendo pobre la formación de semilla en plantas masculinas estériles incluso cuando están rodeadas de buenos polinizadores.

Varietades híbridas  $F_1$  se cultivan en gran escala en la República Popular de China. La esterilidad citoplásmica masculina se utiliza en la producción de semilla híbrida, pero el cruzamiento natural se complementa con la polinización manual.

Una evaluación realista del vigor híbrido para los trópicos comprende dos preguntas críticas. ¿Un aumento del 5 al 10% en el potencial de rendimiento sería una contribución importante? ¿El vigor híbrido sería práctico dado el enorme problema de distribución de semilla y la necesidad de comprar nueva semilla cada estación?

## **La población $F_2$**

La  $F_2$  es una generación crítica en el mejoramiento del arroz porque, más que ninguna otra, determina su éxito o fracaso. El éxito en la selección  $F_2$  depende de las poblaciones grandes, las densidades de siembra, la estricta sujeción al criterio de selección, la fuerte presión de selección, la estricta eliminación de todo material deficiente o dudoso, y la habilidad para diferenciar entre los efectos de competencia y la morfología inherente indeseable.

Una razón por la cual la  $F_2$  es tan importante en el arroz es que muchas características se fijan temprano en el ciclo de fitomejoramiento. La experiencia con muchas características demuestra que si los segregantes  $F_2$  no son buenos, las probabilidades de encontrar plantas superiores en la  $F_3$  o generaciones más avanzadas son remotas. En la práctica, esto significa que la selección continuada es infructuosa si las combinaciones deseadas no se encuentran en la  $F_2$ . Un segundo problema, que pone de relieve la importancia de esta generación, es que la progenie típica  $F_2$  de distintos padres está formada por un conjunto sorprendente de segregantes indeseables, con caracteres buenos esporádicos. En razón de estas dificultades, la población  $F_2$  debe manejarse de tal forma que aumente la probabilidad de encontrar segregantes deseables.

El procedimiento de manejo de la  $F_2$  empieza al cosechar los híbridos  $F_1$ . Coseche todas las plantas de un cruce simple  $F_1$  en masa. Las plantas de  $F_1$  segregantes usualmente se seleccionan y se cosechan individualmente, pero las mezclas compuestas de plantas seleccionadas también son aceptables. Después del secamiento y el desgrane, arregle los paquetes de semilla de acuerdo con el número de cruce. Decida el tamaño de cada población  $F_2$  que va a cultivar; numere los sobres a partir del último número de la estación previa; deposite la semilla requerida en los sobres, y colóquelos en el horno para romper la latencia durante siete días antes de la siembra.

### **Selección previa de plántulas para el transplante**

La selección previa para poblaciones de siembra directa es obviamente imposible, pero cuando la  $F_2$  se va a transplantar puede a menudo mejorarse seleccionando en el semillero las plantas superiores. Las plántulas se pueden exponer al ataque de enfermedades o insectos para identificar aquellas con resistencia. Esto es especialmente útil para piriularia y otras enfermedades que dan reacciones claras y confiables en estado de plántula. Las plántulas  $F_2$  de cruces entre progenitores altos y enanos se pueden clasificar por su altura, con buena exactitud, a los 20 ó 25 días de edad, siendo posible seleccionar y transplantar las plántulas enanas y descartar las altas. Los segregantes de porte bajo no se seleccionan por su vigor inicial, toda vez que el medio ambiente influye notoriamente en este carácter en el semillero.

### **Tamaño de la población**

Aunque no hay un tamaño ideal de la  $F_2$  para poblaciones de cruzamientos simples, una regla útil es que sean tan grandes como sea posible, especialmente para los cruces más amplios. Las poblaciones menores de 3000 plantas son probablemente inadecuadas. Muchos fitomejoradores encuentran que 6000 a 10,000 plantas por cruce son suficientes para encontrar y seleccionar un número adecuado de segregantes útiles. El tamaño de la población puede reducirse si se cultivan varios cruces con parentesco y objetivos similares.

Para un determinado conjunto de objetivos, es probablemente mejor tener varias poblaciones pequeñas de varios cruzamientos que una población grande de un solo cruce. Las familias  $F_2$  de plantas individuales  $F_1$  de retrocruzamientos, cruces triples y dobles deberán constar de 200 a 400 plantas, pero el número podrá reducirse si hay un gran número de familias en cada cruce y/o si se han efectuado varios cruces similares.

En el CIAT, las plantas  $F_2$  se cultivan en surcos de 20 m, con 60 cm de separación entre surcos para facilitar la selección. Las plántulas individuales se transplantan a 20 cm de distancia entre sí en el surco. En el IRRI se usan surcos de 12 m. El número de surcos depende de la cantidad disponible de semilla  $F_2$ . En algunos programas se siembra un solo surco de cada progenitor del cruce al comienzo de cada parcela  $F_2$ . Sin embargo, las variedades testigo son menos útiles en la  $F_2$  que en las generaciones posteriores, debido a la amplia segregación y a que la competencia afecta tan drásticamente el tipo de planta en algunas poblaciones que las comparaciones con los progenitores son de poco valor. Ni el IRRI ni el CIAT emplean surcos testigos parentales en la  $F_2$ .

### Densidad de siembra

El transplante de la  $F_2$  es muy superior a la siembra directa. El transplante asegura un espaciamento uniforme entre plantas y una plántula por sitio, eliminando así el problema de seleccionar dos o más plantas juntas. La competencia es algo menor en poblaciones transplantadas, y la depuración de fenotipos indeseables es más simple. Los espaciamentos normales entre sitios con una sola planta son 30 x 25 ó 30 x 20 cm.

A pesar de las desventajas, la  $F_2$  debe sembrarse directamente cuando no es posible transplantarla. Una buena práctica es reducir grandemente la densidad de siembra en cada surco, conservando una distancia de 30 cm entre surcos. Antes de que el programa colombiano adoptara el transplante de poblaciones  $F_2$  se sembraban cerca de 5 g de semilla por surco de 20 m, teniendo el cuidado de colocar cada semilla manualmente a intervalos de 10 cm. Una densidad mayor dificulta la selección de plantas individuales.

### Selección

Las poblaciones  $F_2$  se observan permanentemente desde el macollamiento inicial a través de los estados de floración para decidir si se seleccionan o se rechazan. Muchas poblaciones  $F_2$  tienen tan pocos segregantes útiles que se descartan de inmediato. El riesgo de perder unas cuantas plantas deseables no debería disuadir al fitomejorador de eliminar los cruces menos promisorios lo que le ahorra tiempo valioso. Una práctica recomendada es hacer muchos cruces y descartar algunos en la  $F_2$ , aumentando así el tiempo disponible para seleccionar los restantes que segregan favorablemente. Generalmente se rechazan menos del 25% de las poblaciones  $F_2$ , y en algunos casos más del 25%.

Si la población  $F_2$  de una combinación de alto x enano parece promisoriosa, es esencial eliminar las plántulas altas competitivas. Las

poblaciones de familias de cruces simples o de retrocruzamientos que segregan tipos altos y enanos son extraordinariamente difíciles de seleccionar si no se depuran, especialmente tratándose de materiales sembrados directamente o de poblaciones que han sido fertilizadas con nitrógeno en grado moderado a alto. Las familias  $F_2$  de retrocruzamientos simples al progenitor enano son más fáciles de manejar que los cruces simples. Si todas las plantas  $F_1$  se seleccionaran y se avanzaran a la  $F_2$ , únicamente el 50% de las familias segregarían por altura y se requeriría depurar las plantas altas. Los cruces entre progenitores de morfología similar no segregan apreciablemente por el tipo de planta y no se depuran.

El número de plantas seleccionadas en la  $F_2$  varía enormemente y rara vez puede predecirse con base en los objetivos del cruce. Si los progenitores combinan supremamente bien, pueden hacerse de 400 a 500 selecciones en una población de 8000 plantas de un cruce simple, pero el porcentaje de segregantes sobresalientes es usualmente mucho más bajo. En materiales de retrocruzamientos y cruces triples, la selección se practica primero entre familias y muchas se descartan por completo. El número de selecciones de familias promisorias con cerca de 400 plantas cada una, puede ser 100 o más, pero usualmente fluctúa entre 20 y 40. El número de selecciones de cada familia o cruce simple se registra en el libro de campo.

El criterio de selección de plantas  $F_2$  depende en alto grado del sistema de producción hacia el cual se dirige el programa de mejoramiento. Las plantas  $F_2$  consideradas adecuadas para condiciones irrigadas diferirán de aquellas deseables para áreas de producción de secano. Cuando el objetivo es obtener plantas enanas para sistemas irrigados de producción se pone especial atención a los siguientes aspectos: buen vigor inicial, macollamiento moderadamente bueno y compacto, uniformidad en la altura y floración, tallos fuertes, hojas cortas y erectas, y panículas pesadas, fértiles y completamente exertas.

Seleccione únicamente una planta a la vez en materiales sembrados directamente. Dos o más plantas de altura similar a menudo crecen tan juntas que el fitomejorador debe examinar cuidadosamente el grano y otras características para separarlas.

A pesar de la eliminación de plantas indeseables altas y frondosas al inicio de la floración, la competencia altera profundamente la morfología de los segregantes deseables en cruces de altos x enanos. Estas plantas normalmente macollan poco, son débiles, y parcialmente fértiles, aún cuando los caracteres del grano no son muy afectados. Los segregantes más valiosos generalmente parecen indeseables, así que identificarlos constituye un desafío para el fitomejorador. Los efectos negativos de la

competencia temprana a menudo dificultan la evaluación de los caracteres de la hoja y tallo de las plantas enanas. En estos casos, las observaciones de campo con base en las cuales se hace la selección son buen tipo de grano, ausencia de daño causado por enfermedades e insectos, y época de maduración. La selección para diferencias en las características del tipo de planta entre variedades enanas es más exitosa en los viveros pedigrí  $F_3$ .

## Viveros masales

En años recientes un sistema de selección masal modificado ha reemplazado la selección pedigrí en varios programas. El problema de una excesiva competencia fenotípica en cruces amplios que limita la utilidad de la selección masal convencional, se evita mediante trabajos con todas las combinaciones enanas del cruce o avanzando a la  $F_2$  únicamente las plantas de altura uniforme de los cruces triples o múltiples. Se cultivan grandes poblaciones  $F_2$  de cerca de 5000 plantas por cada cruce. Las poblaciones son especialmente manejadas para promover las enfermedades y otros problemas. Obviamente los cruces inferiores son eliminados. Las mejores poblaciones se observan cuidadosamente a través de todo el ciclo de cultivo y se seleccionan una o dos panículas a la maduración de cada una de las mejores segregantes. Se pone especial atención al período de maduración, tipo de grano, características del grano, vigor de la planta, y tolerancia a las enfermedades, plagas y problemas del suelo. Las panículas seleccionadas de cada cruce se colocan en una talega de lienzo, se secan y se desgranar para suministrar la semilla masal para la  $F_3$ . Las poblaciones algo más pequeñas se manejan y se seleccionan de manera similar en las  $F_3$  y  $F_4$ . A partir de la  $F_4$  o  $F_5$  se seleccionan numerosas plantas para establecer las líneas puras. Estas se pueden evaluar en parcelas de tres surcos sin repeticiones. De este punto en adelante el sistema es idéntico al de pedigrí.

Las ventajas del mejoramiento masal modificado sobre la selección por pedigrí durante las generaciones tempranas segregantes son significativas. El sistema es rápido, económico, y evita toda complejidad en el mantenimiento de la integridad de miles de plantas individuales. Como consecuencia, la preparación de los libros de campo es un asunto simple.

La desventaja del sistema estriba en que muchos caracteres importantes no pueden evaluarse en el campo en las poblaciones masales. En el caso del programa colombiano, la resistencia al insecto sogata, la apariencia del endosperma y la calidad de cocción son caracteres críticos. El sistema del pedigrí permite evaluar tales caracteres en plantas individuales en viveros especiales. Esto no se puede hacer cuando las selecciones están agrupadas en masa. La solución más práctica a esta limitación es seleccionar muchas

plantas  $F_4$  o  $F_5$  para la formación de líneas puras y evaluarlas simultáneamente para estas características. Las selecciones no satisfactorias se desechan y las restantes se evalúan en el campo. Sin embargo, a pesar de esta desventaja, muchos fitomejoradores están cambiando del sistema de pedigrí a la selección masal modificada.

## **Viveros pedigrí**

Los viveros pedigrí son el corazón de muchos programas de mejoramiento de arroz. En ellos es donde primero se identifica el material promisorio con algún grado de certeza, pero también donde puede acumularse el material inútil destruyendo así todo el programa. Un buen manejo y un juicio adecuado son más esenciales en el mantenimiento de los viveros pedigrí que en cualquier otra fase del programa de mejoramiento.

### **Frecuencia de siembra**

Si el clima lo permite y hay disponibilidad de agua a lo largo del año, es mejor sembrar viveros pedigrí más pequeños varias veces, en vez de sembrar dos viveros grandes a intervalos de seis meses. En el CIAT el material de mejoramiento se siembra en viveros pequeños cada 45 a 60 días, distribuyendo la carga de trabajo durante todo el año. Aún más, un equipo de dos o tres investigadores no puede evaluar y seleccionar eficientemente viveros con más de 5000 surcos pedigrí cuando solamente 30 ó 40 días separan los segregantes más precoces de los tardíos. Pero una vez que se ha terminado de cosechar los viveros más pequeños, un equipo pequeño puede secar y preparar la semilla, romper la latencia, llevar los nuevos libros de campo, y resembrar el material seleccionado en 45 a 60 días. O sea que, mediante siembras escalonadas, un equipo pequeño puede manejar seis o más viveros pequeños cada año.

Sembrando viveros pequeños más frecuentemente, el fitomejorador dispone de material en varios estados de desarrollo en el campo en una época dada. Esto elimina los períodos vacíos característicos de los programas que establecen viveros cada seis meses, y fomenta el hábito de trabajar diariamente en el campo. Los visitantes, estudiantes y becarios en servicio pueden vincularse al programa en cualquier época y encontrar en progreso todas las etapas desde la siembra hasta la cosecha.

### **Preparación de la semilla para la siembra**

Las panículas de las plantas seleccionadas en las poblaciones  $F_2$  o viveros pedigrí en el campo se trasladan al laboratorio en sobres de manila,

donde se almacenan en cajones de madera en estanterías mientras se las traslada al cuarto frío. Las panículas seleccionadas cada día se deben secar rápidamente para evitar daños o deterioro de la calidad. En muchas áreas, las panículas en los sobres se secan al sol en patios, pero esta práctica tiene varias desventajas, especialmente porque los granos se quiebran más fácilmente durante la molienda para efectuar las pruebas de calidad.

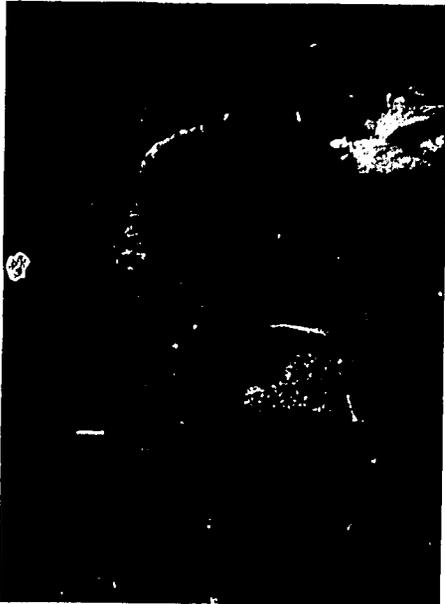
Los fitomejoradores deberían insistir en la necesidad de disponer de una secadora como parte indispensable de su programa. En el CIAT se construyó un pequeño secador eléctrico de aire caliente con una capacidad para cuatro cajones de madera, cada uno de los cuales contiene cerca de 300 selecciones de plantas individuales. La temperatura del aire se regula para que no exceda de 40°C. El grano usualmente se seca hasta que queda con 14% de humedad o menos en 24 horas. Aunque un secamiento más prolongado o a temperaturas más altas no afecta la viabilidad, las semillas pueden cuartearse. Estas se rompen cuando se está efectuando la molienda para las pruebas de calidad.

Desgrane las panículas únicamente después de que el grano esté seco, nunca antes. Ya que no existe ningún desgranador eficiente para plantas individuales de arroz, uno de los procedimientos más apropiados es desgranar las panículas a mano y secar los granos en platones. Limpie la semilla desgranada soplando suavemente para remover las glumas estériles y granos livianos y luego retórnela a su sobre. Si se usa un desgranador pequeño de panículas, generalmente es necesario pasar las semillas por un soplador mecánico para una limpieza adecuada (Fig. 35).

Después de haber desgranado todas las panículas arregle los sobres numéricamente según el número de campo de los surcos seleccionados y verifique el número de plantas contra el número registrado en el libro en la época de selección. Corrija las discrepancias en el libro y determine el número total de selecciones.

Mantenga una numeración continua de los surcos y del número de cruces durante varios años para eliminar cualquier posibilidad de duplicación en los años subsiguientes. El primer número del nuevo vivero deberá, por lo tanto, ser el que le sigue al último número de campo asignado. Es preferible saltarse algunos números cuando sea necesario con el objeto de que el primer número del surco termine en 1. Por ejemplo, si el vivero anterior fue 38,692, el nuevo deberá recibir el número 38,701.

Numere consecutivamente los sobres de manila con el grano desgranado con una máquina numeradora manual, saltándose los números que terminen en 20, 40, 60, 80, y 00. Estos números se reservan para la semilla



35

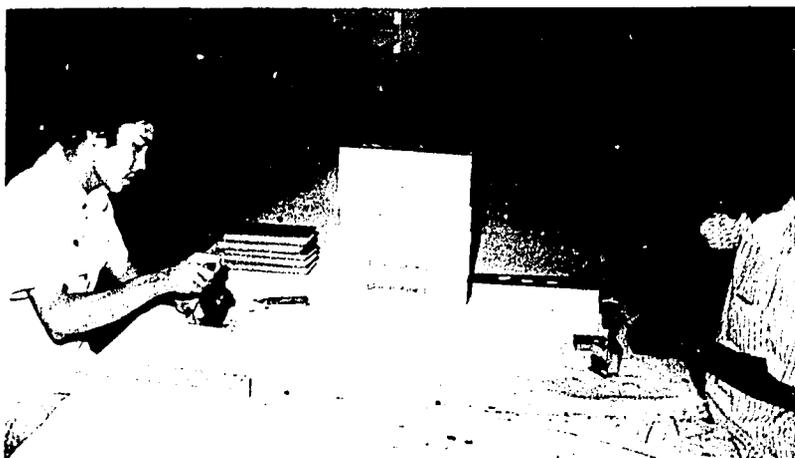
*Limpieza de semilla de una selección con un soplador mecánico.*

de las variedades testigo, las cuales se siembran cada 20 surcos en los viveros pedigrí.

Mientras que un trabajador numera los sobres, otro prepara la nueva lista de siembra. Registre los nuevos números de los surcos en la primera columna y, en la última, coloque los números de la fuente de origen correspondientes a los surcos seleccionados en el vivero previo. En las columnas intermedias registre el cruce, pedigrí, y generación de cada selección. Para evitar errores, compare frecuentemente la numeración de la nueva lista de semilla con la numeración de los sobres de manila.

El paso siguiente es numerar sobres pequeños para cada selección (Fig. 36); se requieren tres sobres por selección si se va a sembrar en el campo, evaluar la calidad y probar la resistencia de cada una de ellas a una sola enfermedad en un vivero independiente. Como a las selecciones se les asignan nuevos números de campo, coloque dentro de los sobres de manila que contienen el grano los sobres pequeños por triplicado. Separe los sobres pequeños que terminen en 20, 40, 60, 80 y 00 para la semilla de las variedades testigo.

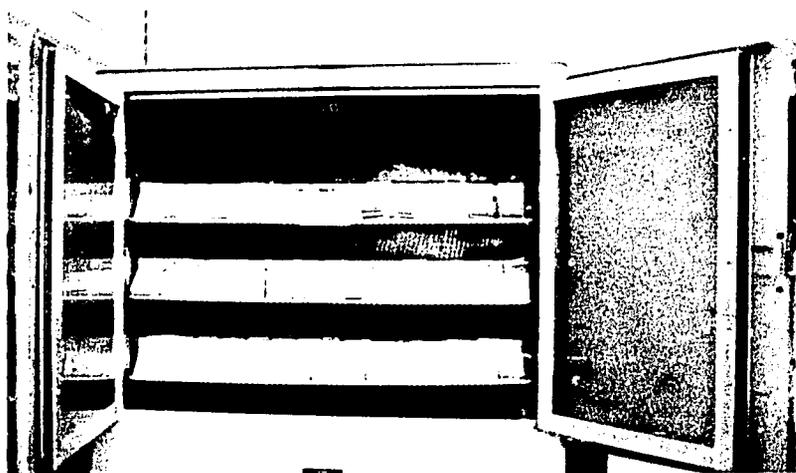
Luego coloque el grano en los sobres pequeños. Cualquier tubo o tapa pequeña, panda, sirve para colocar la cantidad apropiada de grano en cada



36 Numeración de los sobres antes de llenarlos con la semilla de las selecciones de la planta.

sobrecito; deje una cantidad pequeña en cada sobre de manila como reserva y almacénelos en un lugar frío hasta que la nueva siembra esté bien establecida. A continuación selle los sobres pequeños y distribúyalos entre los viveros de campo, de calidad, y prueba de enfermedad. Prepare y siembre la semilla de las variedades testigo en cada vivero de campo y luego coloque los sobres pequeños en orden consecutivo en cajas de cartón marcadas para identificar su contenido.

Coloque la semilla preparada (excepto la que se va a evaluar por calidad) en hornos a una temperatura entre 50 y 55°C por cinco o siete días para romper la latencia y poderla sembrar inmediatamente (Fig. 37).



37 La latencia de la semilla se rompe colocándola en un horno entre 50 y 55° C por 5 a 7 días.

## Libros de pedigrí

El requisito más importante de un libro de campo es que sea de fácil manejo en el mismo. Este debe ser suficientemente pequeño para llevarlo en un bolsillo, dejando las manos libres (Fig. 38). Aunque los libros más grandes son más difíciles de manejar en el campo, el IRRI está usando unos de mayor tamaño para poder fotocopiar fácilmente las páginas, a fin de distribuirlas entre los científicos del programa.

La cubierta de los libros debe ser dura y a prueba de agua. Los libros del CIAT son de 12 x 23 cm y contienen cerca de 100 páginas, cada una con capacidad para 16 líneas pedigrí. Las páginas tienen rayado horizontal y están divididas en columnas verticales. En la página izquierda se registra el número del surco, cruce, pedigrí, número de origen, y generación de la planta; en la derecha, la calidad, reacción a enfermedades y notas de campo (Fig. 39).

Una vez que haya completado la lista de semilla y verificado su exactitud, registre los datos en el libro pedigrí. En el CIAT se duplicó a mano cada libro durante años como una seguridad en caso de pérdida, y las notas de campo no se incluían en la copia. Posteriormente, el CIAT suspendió el proceso tedioso de preparar copias porque el libro podía rehacerse fácilmente a partir de la lista de semilla en el caso poco probable de que se extraviara.

Un vivero de 6000 líneas requiere cuatro libros pedigrí. Esto permite que cuatro trabajadores registren simultáneamente las notas en el campo, y es mucho más práctico que tener todo un vivero en un solo libro grande.



38

*Los libros de campo deberían ser de un tamaño conveniente para taluso.*



JUNE RAINFED PEDIGREE NURSERY  
DATE TO HEADING

Date sowed: 29 June '77  
Transplanted: 20 July '77

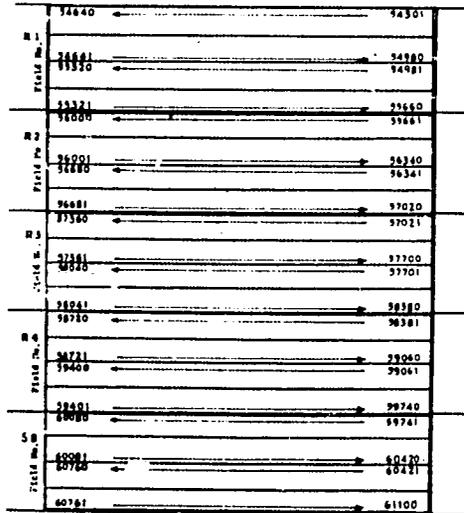
Sept. 1 - 65	Oct. 1 - 95
3 - 67	3 - 97
5 - 69	5 - 99
7 - 71	7 - 101
9 - 73	9 - 103
11 - 75	11 - 105
13 - 77	13 - 107
15 - 79	15 - 109
17 - 81	17 - 111
19 - 83	19 - 113
21 - 85	21 - 115
23 - 87	23 - 117
25 - 89	25 - 119
27 - 91	27 - 121
29 - 93	29 - 123

40

*Al frente del libro de campo se coloca un calendario.*

PLANT BREEDING DEPARTMENT  
PLANTING PLAN

EXPT./MANAGER: MARKET GARDEN DEVELOP Fertilizer: 40/20/20/ha  
Season/year: 1977 MEXICAN Plot size: \_\_\_\_\_  
Location: R.I.A. S.S. 2 Spacing: 30 x 30



41

*Antes del transplante se prepara un mapa decampo.*

surco. Dos a tres gramos de semilla son suficientes para sembrar un surco. Entierre una estaca en cada surco antes o durante el transplante y amarre el rótulo numerado que identifica el manojito de plántulas a la estaca colocada al pie del surco transplantado.

Los viveros pedigrí sembrados directamente requieren 5 g de semilla por surco de 5 m. Esta densidad de siembra es considerablemente más alta que la utilizada para la F<sub>2</sub>, debido a que la competencia de los tipos de planta contrastantes no es un problema después de la F<sub>2</sub>, y el desarrollo vigoroso de poblaciones altas es importante empezando en la F<sub>3</sub>. Inmediatamente después de la emergencia de las plántulas coloque estacas en las parcelas para registrar los datos de vigor inicial y macollamiento. Coloque una estaca delgada de bambú al pie de cada quinto surco. Las tabiillas de identificación de las macetas deben tener una longitud de 5 cm, se numeran en ambos lados y se introducen en parafina derretida; luego se amarran a las estacas de bambú o de madera. Es muy costoso colocar una estaca por cada surco; sin embargo, una estaca cada 10 surcos da un cubrimiento inadecuado. Recoja las estacas después de cada cosecha y úselas hasta que se deterioren.

Para evitar confusiones, numere los surcos consecutivamente durante varios años, en lugar de comenzar nuevamente la numeración para cada

estación o año. Es conveniente reservar los números de 10.001 a 20.000 para la población  $F_2$  y de 20.001 a 99.999 para los surcos pedigrí, mientras que los números más bajos se emplean para parcelas de observación y ensayos de rendimiento.

### **Surcos testigo**

Las variedades testigo deben sembrarse a intervalos fijos, usualmente cada 20 surcos en viveros pedigrí, para fines comparativos. No es práctico utilizar los numerosos progenitores de todos los cruces en el campo como variedades testigo; por esto deben usarse tan sólo unas cuantas variedades contrastantes que sean representativas de los principales objetivos de mejoramiento. De aquí que las variedades cambien después de varias estaciones. Bluebonnet 50 es representativa de un tipo de planta alta de bajo macollamiento; su grano es de excelente calidad y es susceptible tanto al virus de la hoja blanca como a su agente vector. IR8 representa un tipo de planta semienano de maduración tardía, sensible a la temperatura baja. CICA 4 combina el tipo de planta deseado con tolerancia a la temperatura baja y resistencia al complejo virus hoja blanca-vector. Aunque la resistencia a piricularia es uno de los principales objetivos, no se incluyen variedades resistentes entre los testigos porque la enfermedad no ocurre en el campo en la sede del CIAT.

### **Registro de notas**

El registro frecuente de observaciones de campo, junto con los datos de calidad y resistencia de viveros duplicados, es esencial para el proceso de selección. Obviamente, la eficiencia de la selección depende de qué tan exactas y completas sean las observaciones registradas en el libro de campo. Como las líneas pedigrí segregan para muchos caracteres importantes, las observaciones se deben expresar con números o letras a fin de poder registrar una gama concisa de la información en el libro de campo. Muchos caracteres se pueden codificar convencionalmente en una escala de 1-9, donde el número 1 indica la manifestación más deseable de la característica. El libro, sumamente útil, "Sistema de Evaluación Estándar para Arroz", enumera las escalas de clasificación para cerca de 50 características importantes. Este libro está disponible en inglés en el IRRI, y en español en el CIAT.

Durante el crecimiento de los viveros pedigrí se acumula información adicional del laboratorio de calidad y de los viveros para enfermedades y otros factores. Las líneas no satisfactorias pueden eliminarse tachando su número de surco en los libros de campo.

En muchos programas se registra el número de días a la floración o 50% de floración para cada línea pedigrí. No obstante, las observaciones sobre floraciones no se registran en el CIAT porque la gran cantidad de trabajo involucrado no se justifica. Esto deja tiempo para evaluar las características más importantes. Interrumpiendo la selección de plantas en una época predeterminada después de la siembra, el fitomejorador descarta automáticamente líneas tardías inadecuadas y se asegura de que todas las plantas seleccionadas se ajusten a un rango de maduración aceptable. En el CIAT sólo se registran datos precisos de floración y maduración para los materiales en ensayos de rendimiento.

### **Selección en líneas pedigrí**

El proceso de selección para las líneas pedigrís muy similar al de las  $F_2$ , excepto que la presión de selección es más estricta, por cuanto hay considerablemente más información sobre el comportamiento de la línea. La selección es altamente subjetiva entre y dentro de los surcos segregantes y es mucho más un arte que una ciencia. El sistema funcional de los registros de campo que contienen tantas informaciones de campo y laboratorio como sea posible, complementan la habilidad de seleccionar eficazmente. A medida que se reúnen los datos, se encuentran muchas líneas inaceptables debido a una o más características importantes. Una vez que las haya identificado, tache sus números en el libro de campo. Como la mayoría de las líneas en los viveros grandes de campo florecerán en la misma época, eliminar previamente las líneas inferiores permite al fitomejorador concentrar su atención en las características de campo del material más promisorio durante los períodos de mayor trabajo desde la floración hasta la maduración.

La evaluación de campo se hace inicialmente entre familias de líneas relacionadas. A medida que las líneas se acercan a la maduración muchas resultan inaceptables, y hay que tacharlas en el libro de campo. Las líneas restantes se evalúan individualmente observando las características de las plantas dentro de los surcos que no son fáciles de detectar directamente desde los callejones. Lo usual es seleccionar únicamente tres plantas pero ocasionalmente se escogen hasta seis. La selección se efectúa en el mejor surco de la familia; los demás se descartan. Muy rara vez se seleccionan plantas de todas las líneas de una familia.

Es esencial efectuar una selección estricta. La primera regla para una selección eficiente es rechazar las líneas con una o más características principales inadecuadas. Los fitomejoradores no deben vacilar en su determinación y seleccionar en surcos indeseables, con el argumento de que esas plantas podrían continuar segregando o quizás ser útiles en cruces

futuros. Esto ocurre rara vez en la práctica. Los caracteres más importantes se fijan muy temprano y la selección dentro de líneas dudosas nunca mejora la generación siguiente. El no ser suficientemente estricto en la selección conduce inevitablemente a una acumulación progresiva de material inadecuado.

Un buen ejemplo es la forma del grano, que rara vez segrega apreciablemente después de la  $F_3$  y a menudo se fija en la  $F_2$ . Esto significa que los tipos de grano bastante buenos en la  $F_2$  o  $F_3$  muy pocas veces producen tipos más deseables en la siguiente generación; por consiguiente, si no se encuentran segregantes deseables en la  $F_3$ , el material se debe descartar. Cada planta mala seleccionada consume espacio, tiempo y dinero valiosos en la preparación de semilla, resiembra y evaluación. Errar por aplicar un criterio de selección demasiado riguroso (y, por lo tanto, poder manejar más cruces y poblaciones más grandes), es mucho mejor que rebajar el criterio de selección.

La selección es más fácil en viveros transplantados que en los sembrados directamente, por cuanto sólo hay una planta por sitio y los sitios están espaciados uniformemente. A medida que uno se desplaza en surcos con tipos de planta aceptables, la vista primero se fija en el tipo de grano. La experiencia permite distinguir las plantas con buen grano a un metro de distancia. Sujete las panículas de una planta promisoriosa con una mano y hálelas hacia un lado para verificar el macollamiento y la firmeza del tallo. Si son satisfactorios, corte las panículas con una hoz y páselas a un obrero que lleva sobres de manila o bolsas marcadas con el número del surco (Fig. 42). Los sobres o bolsas deberán ser suficientemente grandes para dar



42

*Corte y empaque en bolsas de las plantas seleccionadas.*

cabida a varias panículas y no deben ser engomados. Anote en el libro de campo el número de selecciones tomadas de cada surco.

Utilice el mismo procedimiento de selección para viveros sembrados directamente. Cerciórese, sin embargo, de cortar únicamente las panículas de las plantas seleccionadas. Para esto sujete las panículas con una mano y con la otra separe los tallos de la planta de aquellos de plantas vecinas justo a nivel del agua.

No es práctico evitar las mezclas seleccionando únicamente una panícula por planta porque se necesita una muestra grande de cada selección para siembras posteriores, reserva de semilla, evaluación de calidad y de resistencia a plagas. Se requiere un mínimo de 10 a 15 g de grano por selección, o sea de cuatro a seis panículas normales.

En programas tropicales activos se manejan varios viveros pedigrí grandes a lo largo del año, de suerte que mientras se seleccionan unos viveros se están evaluando otros. Empiece la selección tan pronto como las líneas más precoces estén maduras y los datos pertinentes de campo, calidad y resistencia estén disponibles en el libro de campo. Continúe a intervalos semanales hasta que haya seleccionado todas las líneas promisorias. Si las plantas tienen granos duros pero verdosos e inmaduros, posponga la selección hasta que estén completamente maduros. Los granos verdes germinan bien pero se rompen fácilmente cuando se los muele para estudiar su calidad, y la apariencia del endosperma es difícil de evaluar.

### **Designación de pedigrís**

Se han desarrollado muchos sistemas para registrar el pedigrí. El sistema ideal combina simplicidad con información completa; el siguiente, utilizado en el CIAT, es una síntesis de varios sistemas modificados por muchos investigadores.

El pedigrí empieza con una letra o letras mayúsculas que designan la estación en donde se hizo el cruce. Así, IR, P, y B corresponden al IRRI, el CIAT (Palmira), y Beaumont, Texas, respectivamente.

A continuación de la letra mayúscula se coloca el número de cruce sin guión o espacio de separación. P6 indica el sexto cruzamiento hecho en el CIAT. Los números de cruce se asignan consecutivamente por un período de varios años y no se repiten. No es recomendable indicar la estación o año de siembra después del número de cruce. Esta información rara vez se necesita durante las operaciones de campo, y se puede obtener fácilmente

consultando el libro de registro de los cruzamientos o contando el número de selecciones en el de pedigrí.

Las semillas de las plantas  $F_1$  de cruces simples usualmente se mezclan y en ocasiones se siembran individualmente, para formar la población  $F_2$  que lleva únicamente el número de cruce (e.g., P752). La siguiente adición numérica al pedigrí tiene lugar después de seleccionar, desgranar y contar las plantas  $F_2$ ; éstas se numeran consecutivamente. Los números de pedigrí de la  $F_3$  se separan del número de cruzamiento con un guión. Si se seleccionan 200 plantas  $F_2$  del cruce P752, entonces el libro de las  $F_3$  tendrá 200 selecciones designadas como P752-1, P752-2, P-752-3, ... P752-200.

Luego se evalúan y seleccionan los mejores surcos  $F_3$ . Si las líneas P752-1 y P752-2 se descartaran y se seleccionaran tres plantas de la línea P752-3, las selecciones se registrarían en el vivero pedigrí  $F_4$  y en los libros de campo como P752-3-1, P752-3-3. Sus pedigrís muestran que las tres provienen de la misma familia  $F_3$ . Este procedimiento se aplica hasta terminar de seleccionar las plantas individuales, usualmente en la  $F_6$ . Por ejemplo, P752-187-2-3-1 indica una línea  $F_6$  que se remonta a la planta  $F_2$  número 187 seleccionada del cruce P752.

A las poblaciones derivadas de uno o más retrocruzamientos o de cruces triples se les asignan los pedigrís en la misma forma, pero se inserta un número adicional en el pedigrí para identificar las familias  $F_2$ . Por ejemplo, el retrocruzamiento de P752 a uno de sus padres puede recibir el nuevo número de cruce P985. El grano de cada planta  $F_1$  retrocruzada y seleccionada forma la familia  $F_2$ . Estas familias se numeran consecutivamente en el libro de campo  $F_2$  como P985-1, P985-2, P985-3, etc. A las selecciones en las siguientes generaciones se les asignan los números pedigrí igual que los cruzamientos simples. Así, P985-18-3-2-1-3, es una línea  $F_6$ . Su pedigrí lleva un número de selección de más que la línea  $F_6$  de un cruce simple. Esta diferencia no causa problemas porque los cruces simples se distinguen inmediatamente de los retrocruzamientos buscando el parentesco del cruce ya sea en el libro de campo o en el libro de historia de cruces.

## Ensayos de rendimiento

El rendimiento del grano es una función de la habilidad de rendimiento, resistencia a enfermedades e insectos, adaptabilidad a las condiciones del medio, prácticas agronómicas, y otros factores. Aunque los investigadores

de arroz pueden estimar fácilmente la habilidad de rendimiento, es importante disponer de datos de rendimiento bajo condiciones específicas de prueba y datos de rendimientos comparativos.

### **Pruebas tempranas**

Las estimaciones tempranas de la habilidad del rendimiento son de gran utilidad. Algunos investigadores de otros cultivos empiezan las pruebas preliminares de rendimiento con material  $F_3$  o  $F_4$  que aun está segregando. Ellos retienen y purifican las líneas de mayores rendimientos y descartan el resto. El IRRI lleva a cabo ensayos de rendimiento con material de generaciones tempranas únicamente si el material es relativamente uniforme. La mayoría de dichas pruebas se efectúan en el IRRI para comparar el contenido de proteína de las líneas y para esto se requieren los datos de rendimiento. Si un programa tiene recursos limitados, es mejor depender del juicio del fitomejorador sobre la habilidad de rendimiento en generaciones tempranas. La relación causal entre la morfología de la planta y el rendimiento de grano, frecuentemente conocida como el concepto de tipo de planta, permite al fitomejorador estimar la habilidad de rendimiento con bastante exactitud observando unas cuantas plantas de una línea o variedad.

A pesar de la poca segregación continua hasta la  $F_6$  o  $F_7$  de características tales como arista, pigmentación, maduración y ciertos aspectos del endosperma, las pruebas de rendimiento pueden comenzar con el grano de los surcos  $F_5$  o  $F_6$ . Seleccione y mezcle suficientes panículas de cada surco promisorio para establecer parcelas de observación sin repeticiones. Además, coseche tres plantas superiores de cada surco promisorio para sembrarlas en el siguiente vivero pedigrí. Determine el rendimiento de las parcelas de observación y bote el grano cosechado después de registrar el rendimiento. Si el rendimiento es satisfactorio, uno o todos los tres surcos puros pedigrí servirán como fuentes de grano para continuar la evaluación de rendimiento. Esta práctica de evaluación temprana del rendimiento, mientras las líneas pedigrí están estableciéndose, es una ayuda valiosa para la selección temprana de líneas avanzadas.

### **Filosofía de las pruebas de rendimiento**

La evaluación de las líneas comienza mucho antes de las pruebas de rendimiento. Con el método pedigrí, la selección estricta puede empezar con la  $F_2$  de cruzamientos simples. Cuando se llega a la homocigocidad ya se han evaluado varias veces la resistencia, características del grano, calidad de cocción, maduración, tipo de planta y otros factores de las líneas sobresalientes. Cuando la selección no es estricta en las generaciones

tempranas, se termina por realizar pruebas de rendimiento de una gran cantidad de material sin valor alguno.

Las pruebas de rendimiento se llevan a cabo para confirmar la evaluación preliminar de características que son difíciles de manejar en las líneas pedigrí tales como rendimiento de grano, proporción grano:paja, resistencia al volcamiento, resistencia al desgrane, calidad de molienda, y adaptabilidad a problemas ambientales.

Los ensayos preliminares y avanzados de rendimiento reciben diversos nombres y son organizados diferentemente en los distintos programas de arroz. En ninguna fase del mejoramiento del arroz hay más variedad y controversia que en el diseño y manejo de los ensayos de rendimiento. Sin embargo, todos los programas de pruebas de rendimiento tienen dos objetivos comunes de gran importancia:

- selección rápida de las numerosas líneas para eliminar las obviamente indeseables, y
- evaluación crítica de unas pocas líneas altamente promisorias para identificar nuevas variedades potenciales.

Un programa activo produce un gran volumen de líneas puras promisorias para la evaluación de rendimiento cada pocos meses. Esto requiere una selección preliminar eficiente y una tasa de eliminación igual a la rápida producción de nuevas líneas puras. Esta selección rápida de cientos de líneas en este estado es más importante que la evaluación detallada y prolongada de unas cuantas líneas que tiene lugar en la siguiente etapa. En el sistema descrito a continuación se evalúan muchas líneas nuevas rápidamente, y unos cuantos materiales superiores se examinan rigurosamente.

### **Parcelas de observación**

La primera evaluación de rendimiento tiene lugar en las parcelas de observación. La semilla para las parcelas de observación proviene de las panículas seleccionadas individualmente de las mejores líneas F<sub>5</sub> a F<sub>7</sub>. Se requieren cerca de 30 panículas para cada línea por cada sitio de prueba. Inspeccione cuidadosamente la uniformidad de las panículas en el laboratorio de semillas antes de mezclar el grano. Si las líneas están aún segregando ligeramente, siémbrelas y purifíquelas simultáneamente en el vivero pedigrí y evalúelas en las parcelas de observación.

Las parcelas de observación usualmente tienen cuatro, y ocasionalmente seis surcos, cada uno de 5 a 10 m de largo. Para facilitar la depuración de las

plantas que no tienen el tipo deseado, establezca un espaciamiento de 30 x 15 cm o 20 x 20 cm en las parcelas transplantadas, sembrando únicamente una planta por sitio. Las parcelas sembradas directamente requieren cerca de 8 g de semilla por un surco de 5 m y se espacian a intervalos de 30 cm. Las parcelas de observación no tienen repeticiones. Distribuya las variedades testigo muy bien en las parcelas como puntos de referencia para compensar parcialmente la heterogeneidad del suelo y otras fuentes no genéticas de variación.

Use prácticas óptimas de cultivo para aquellos factores que los agricultores pueden controlar adecuadamente; los que los agricultores no pueden controlar completamente en grandes áreas, tales como la profundidad del agua o la época de transplante, manéjelos como lo harían los mejores agricultores. Promueva el desarrollo de insectos y enfermedades. Las observaciones sobre el desarrollo de la línea se registran en los libros de campo cada siete a diez días, desde el macollamiento inicial hasta la floración. Estas evaluaciones deben ser concisas; evite las descripciones vagas. Ponga especial atención al vigor vegetativo, o a la tasa a la cual la línea cierra los espacios entre surcos y aumenta el área foliar. Use escalas numéricas para registrar las características como época de floración, esterilidad de espiguillas, altura de las plantas, condición de la hoja a la maduración, volcamiento, desgrane y resistencia. Periódicamente elimine de las parcelas de observación las plantas fuera de tipo.

En cada estación se pueden cultivar varios cientos de parcelas de observación. Las parcelas que son consideradas inferiores antes y durante la cosecha no deben cosecharse. Frecuentemente se dejan sin cosechar de 10 a 40% de las parcelas de observación. Corte los surcos centrales de las parcelas más promisorias, dejando un surco de borde a cada lado. Seleccione individualmente cerca de 100 panículas de los surcos de borde de las parcelas uniformes y verifique su uniformidad para utilizarlas como semilla en el siguiente ciclo de ensayos de rendimiento. No utilice grano mezclado de los surcos cosechados para siembras posteriores porque a menudo se contamina durante la cosecha, desgrane, secamiento y manejo de la semilla en el laboratorio.

Después del secamiento, limpieza y pesada del grano cosechado, convierta el rendimiento a kg/ha y regístrelo en el libro de campo. Aunque es deseable corregir los rendimientos para el contenido estándar de humedad del 14%, los medidores de humedad no siempre están disponibles. Sin embargo, esta fuente potencial de error es pequeña comparada con muchas otras y se puede ignorar si las muestras se secan lo más uniformemente posible.

La calidad de molienda se puede determinar en muestras de 1 kg o menos, y las líneas que producen un porcentaje bajo de arroz entero pueden eliminarse. Colocar unos pocos granos de la semilla molida de cada línea en bandejas con cubierta de vidrio es útil como referencia constante al tamaño del grano, forma y apariencia del endosperma.

Una vez que ha registrado todos los datos en el libro de campo, compare cada línea cosechada con las de las parcelas vecinas y con las variedades testigo. El criterio básico para descartar líneas son las notas de campo sobre el crecimiento a través de toda la estación de cultivo en los varios sitios de prueba, junto con la información sobre rendimiento de grano, resistencia a enfermedades y calidad. Generalmente no se retiene ninguna línea que no supere a las variedades comerciales en una o más características y sea aproximadamente igual en las otras. Lo usual es que sólo un 10 a 25% de las parcelas de observación sean suficientemente buenas para continuar evaluándolas en los ensayos de rendimiento.

### **Ensayos de rendimiento con repeticiones**

Las mejores líneas seleccionadas de las parcelas de observación pasan a los ensayos de rendimiento con repeticiones para continuar la evaluación (Fig. 43). Estas pruebas se conocen como ensayos avanzados de rendimiento en algunos programas para distinguirlas de los ensayos preliminares de rendimiento o parcelas de observación.

Los ensayos repetidos de rendimiento difieren de las parcelas de observación en que abarcan únicamente de 20 a 40% de las selecciones, y las



43 *Ensayos repetidos de rendimiento en el IRRI.*

parcelas son más grandes, frecuentemente de seis a ocho surcos, cada uno de 5 a 10 m de largo. En el CIAT se hacen únicamente tres repeticiones; en el IRRI y en la mayoría de los programas se hacen las cuatro repeticiones convencionales para cada grupo de líneas.

El CIAT utiliza el diseño de bloques completos al azar para las selecciones en ensayos de rendimiento. Como las selecciones maduran uniformemente y todas son enanas o de porte moderado, no se las agrupa de acuerdo con ninguna de estas dos características. No obstante, en algunas áreas templadas, en donde es deseable material muy precoz para producir además un cultivo de soca, es necesario agruparlas por el tiempo a la madurez.

El sistema flexible de ensayos de rendimiento del IRRI permite hacer casi cualquier tipo de comparación, siendo al mismo tiempo supremamente sencillo. Los ensayos de rendimiento son del mismo tamaño y están compuestos de 25 selecciones (incluyendo dos testigos en cuatro repeticiones). El tamaño de la parcela es de 2 x 5 m, con espaciamentos de 20 x 20 cm (10 surcos, incluyendo dos surcos de borde a cada lado; el área para cosechar es de más de 5 m<sup>2</sup>). Un ensayo de rendimiento cubre exactamente la mitad de un bloque de irrigación. El diseño es un látice parcialmente balanceado pero puede analizarse como un diseño de bloques completos al azar. El número de ensayos depende del número de líneas que se van a probar. Hay dos variedades testigo o líneas comunes en cada ensayo, las cuales permiten calcular la diferencia mínima significativa y hacer las comparaciones estadísticas entre todas las selecciones de todos los ensayos. Mediante este método, el IRRI algunas veces prueba 500 selecciones (20 ensayos) por estación. El Cuadro 1 muestra el sorteo al azar para un ensayo estándar.

Los detalles del análisis están disponibles en el Departamento de Estadística del IRRI. La completa estandarización de las pruebas de rendimiento permite al IRRI cosechar los ensayos de rendimiento, analizar los datos, decidir qué líneas se deben continuar evaluando y sembrar el siguiente grupo de ensayos en tan sólo 30 días.

En el CIAT no se analizan estadísticamente los datos de rendimiento y esto es probablemente innecesario para muchos programas. Los análisis estadísticos de las diferencias en rendimiento en el último minuto, a menudo se sustituyen por la evaluación visual constante de las selecciones del ensayo de rendimiento en todos sus estados de crecimiento. Los fitomejoradores en las regiones templadas cosechan una vez al año y tienen todo el invierno para analizar los datos de rendimiento, pero los investigadores en los trópicos están bajo constante presión para volver a

sembrar tan pronto como sea posible después de la última cosecha. En las áreas tropicales es más importante hacer pruebas continuas de rendimiento sin dilaciones que analizar los datos de rendimiento. Los investigadores que argumentan que han alcanzado el tope de rendimiento, y que las variaciones de rendimiento entre las parcelas de sus ensayos son tan limitadas que es necesario analizarlas para determinar las diferencias estadísticamente significativas, deberían dedicar su tiempo y energía a identificar y buscar soluciones para los factores que restringen el rendimiento.

Cuadro 1. Sorteo al azar de los ensayos repetidos de rendimiento en el International Rice Research Institute.

Selección No.	Parcela No.				Selección No.	Parcela				No. IV
	I	II	III	IV		I	II	III		
1	24	27	58	98	14	13	49	61	85	
2	21	39	64	86	15	11	42	74	95	
3	23	32	75	82	16	10	26	71	90	
4	22	50	52	92	17	07	38	53	83	
5	25	41	69	79	18	08	34	68	91	
6	02	29	67	84	19	06	46	56	80	
7	05	40	60	93	20	09	45	62	00	
8	03	35	63	77	21	19	28	65	94	
9	01	48	72	96	22	20	37	73	76	
10	04	43	55	88	23	18	33	54	99	
11	15	30	51	78	24	17	47	70	87	
12	14	36	66	97	25	16	44	59	81	
13	12	31	57	89						

Tal vez la principal diferencia entre los ensayos de rendimiento y las parcelas de observación es que los primeros se deben repetir en diversas localidades, mientras que las parcelas de observación sólo se siembran en una o pocas estaciones experimentales debido a la escasa cantidad de semilla de que se dispone y al gran número de selecciones. En el programa colombiano, por ejemplo, los ensayos de rendimiento se llevan a cabo en la sede del programa y en las tres subestaciones en localidades sumamente distantes en el país. También se suministra semilla a los cooperadores de varios países de América Latina. Las repeticiones en varias áreas son más valiosas que el aumento de las mismas en una localidad.

Los investigadores de la sede colombiana visitan todas las siembras por lo menos una vez por semestre. Después de la cosecha, los investigadores locales responsables de cada ensayo se reúnen para estudiar cada selección.

En casi todos los ensayos, muchas líneas que se comportan bien en la sede del programa y en ciertas estaciones experimentales muestran los efectos limitantes en otros lugares. Esto ilustra claramente la necesidad de identificar y descartar el material inferior por medio de la evaluación y de observaciones de campo permanentes en diferentes regiones antes de que se las designe como variedades para uso comercial. La mayor falla de los ensayos de rendimiento en todo el mundo es que no se prueban suficientemente las líneas avanzadas en diversas regiones. La repetición de pruebas en una sola localidad no solamente es un mal sustituto sino que también crea cuellos de botella que limitan el progreso de todo el programa y conducen a liberar variedades de poca adaptación.

Las notas que se toman en los ensayos de rendimiento son idénticas a las de las parcelas de observación, pero se cosechan todas las selecciones. Las bases de eliminación de las selecciones son las mismas que las de las parcelas de observación. El rendimiento del grano se registra usualmente en los cuatro surcos centrales de la parcela de ocho surcos. De los surcos de borde se cosechan individualmente de 150 a 200 panículas de las cuales se obtendrá semilla para ensayos continuados de rendimiento. Las líneas rara vez se evalúan más de dos veces en los ensayos de rendimiento antes de descartarlas o aceptarlas para las pruebas regionales.

### **Pruebas regionales**

Las líneas más promisorias, identificadas en una o dos series de ensayos de rendimiento previos, se prueban en ensayos regionales en estaciones experimentales y fincas arroceras. El número promedio de selecciones a probarse es de cerca de 10, aunque puede llegar a 15, incluyendo una o dos variedades testigo. Las parcelas de cada selección fluctúan de 100 a 1000 m<sup>2</sup>, y se efectúa tan solo una o ninguna repetición.

Los objetivos de los ensayos regionales son evaluar el potencial de las nuevas variedades en las fincas y servir de sede para los días de campo fuera de la estación experimental. Para estos ensayos busque agricultores colaboradores quienes facilitarán las parcelas con suelo uniforme y agua, y cuidarán de ellas durante toda la época de cultivo. Las pruebas regionales deben seleccionarse de acuerdo con los extensionistas de la localidad, y deberán ubicarse a lo largo de las principales vías para que puedan ser apreciadas por los agricultores.

La siembra de pruebas regionales en las fincas privadas no es un problema en el caso del arroz transplantado pero es difícil cuando se hace directamente, especialmente donde el cultivo de riego se siembra al voleo con avioneta. La mejor solución es sembrar la prueba regional al voleo

manualmente, a una densidad de cerca de 150 kg/ha en parcelas localizadas en un extremo del lote. La semilla sembrada al voleo en las parcelas se cubre con un azadón y el riego se aplica tan pronto como sea posible para asegurar una germinación uniforme.

Las pruebas regionales para arroz de secano en fincas mecanizadas presentan problemas especiales. Las diferencias en fertilidad y topografía del suelo ocasionan variaciones pronunciadas en el crecimiento y la apariencia de las líneas probadas. La técnica de siembra utilizada en Costa Rica combina simplicidad con buenos resultados. Cada línea se siembra con una sembradora del agricultor en una franja larga de aproximadamente 100 m, con un espaciado estándar entre surcos de 17 cm, y una densidad de siembra de 100 kg/ha. La sembradora se limpia después de cada línea para disminuir la mezcla de semilla. Las parcelas largas y angostas facilitan la evaluación de la línea en donde la heterogeneidad del suelo hace que éste presente diferentes problemas de nutrición mineral y sequía. Además, las variables de fertilizantes simples pueden superponerse en bloques con orientación perpendicular a los surcos de siembra.

Las pruebas regionales son difíciles de manejar porque usualmente es imposible supervisarlas a diario. De ser posible, se debe asignar una o más pruebas a extensionistas bien entrenados de la localidad. Las pruebas regionales altamente visibles deben recibir óptimo cuidado, consistente con las prácticas locales de cultivo porque un manejo ineficiente les resta credibilidad a los investigadores ante los agricultores. La persona encargada no deberá identificar el ensayo hasta estar segura de que tendrá éxito. Los días de campo deben programarse únicamente si las parcelas están en buenas condiciones y si hay por lo menos una línea tan sobresaliente que probablemente se convierta en una nueva variedad.

Es sorprendente cómo líneas que pasan con éxito los viveros pedigrí, las parcelas de observación y los ensayos de rendimiento presentan desventajas graves en las pruebas regionales. Por lo tanto, el fitomejorador debe efectuar tantas pruebas regionales cuantas sea posible, concentrándose en las áreas que difieren de las estaciones experimentales.

Las pruebas regionales son difíciles de cosechar y trillar en razón del tamaño de las parcelas y de su distancia de la estación experimental, y porque no se dispone de una trilladora - autolimpiadora de gran capacidad para estos fines. El mejor procedimiento es seleccionar cuidadosamente las áreas de muestra en cada parcela, cosecharlas a mano, y trillarlas en el campo golpeando las panículas de las plantas cortadas contra tambores de aceite vacíos colocados sobre lona o plástico. El grano empacado se transporta a la estación experimental para secarlo, limpiarlo y estimar el rendimiento.

## Pruebas internacionales

La participación en el Programa de Pruebas Internacionales de Arroz (IRTP), con sede en el IRRI y en el CIAT, ofrece una excelente oportunidad para que los programas de mejoramiento de arroz prueben sus mejores materiales en una gama amplia de ambientes. El germoplasma del IRTP disponible en el CIAT para evaluación en toda América Latina incluye viveros de rendimiento y observación de diferentes clases de maduración para condiciones de riego y secano, arroces flotantes, y grupos específicos para resistencia al escaldado de la hoja, piricularia, añublo de la vaina, salinidad y suelos ácidos. Otros viveros disponibles en el IRRI y en el IITA están destinados a estudiar las necesidades específicas del Asia y Africa, respectivamente. La información obtenida en un año puede ser más útil que los datos de varios años de una sola localidad o aún de varias localidades dentro de una región. La estabilidad de la resistencia a enfermedades e insectos puede ser mejor evaluada porque los materiales están expuestos simultáneamente a un espectro completo de cepas, biotipos y razas.

Aún más, los investigadores de arroz tienen acceso permanente al mejor material mejorado de todos los programas. Este ingreso valioso de material diverso evita el estancamiento y la dependencia de una base genética reducida. Esto es frecuentemente un problema en los programas más pequeños, por cuanto los científicos carecen de los recursos y oportunidades para viajar y, por lo tanto, tienen poco contacto con otros científicos y programas.

## Semilla genética

Dos años de ensayos de rendimiento y pruebas regionales e internacionales en varias localidades son normalmente suficientes para decidir si las líneas avanzadas deberán descartarse o multiplicarse para posible distribución como nuevas variedades. Los fitomejoradores afrontan el problema de haber identificado varias líneas excelentes sin estar seguros de cual deberían designar como variedad. El procedimiento de producción de semilla genética, o sea la producción de la semilla por el fitomejorador, le permite a éste no sólo multiplicar la semilla de las líneas sobresalientes sino reducirlas a una o máximo dos líneas.

A título ilustrativo, asumamos que seis líneas han sido sobresalientes durante dos series de ensayos de rendimiento y uno de pruebas regionales. Seleccione 600 panículas de cada línea individualmente ya sea de los

ensayos de rendimiento o de las pruebas regionales. Verifique la uniformidad del tipo de grano en el laboratorio y desgrane cada una por separado. Para acelerar la multiplicación de semilla genética, transplante el material de ser posible.

Este primer ciclo de multiplicación, efectuado en la principal estación experimental, deberá coincidir con la segunda serie de pruebas regionales en fincas particulares. Transplante el material (1 planta/sitio) para facilitar la eliminación de las que no concuerdan con el tipo deseado. Inspeccione frecuentemente cada surco durante el desarrollo del cultivo y elimine o destruya las plantas ocasionales que no son del tipo deseado de surcos normales en los demás aspectos. Elimine los surcos diferentes.

La evaluación constante de las seis líneas en las pruebas regionales y parcelas de multiplicación da como resultado la identificación de una o más líneas que merecen ser designadas variedades. Para evitar las mezclas, sea sumamente cuidadoso cuando la semilla se está cosechando, secando, limpiando y empacando en masa en el campo. Bajo condiciones normales, se cosechan 1000 kg de semilla de las 600 panículas por surco. Cerca de 300 kg de semilla por línea se almacenan en un cuarto con aire acondicionado como semilla genética que se utilizará para producir semilla básica en los años futuros. La semilla usualmente retiene su viabilidad por cinco años o más, cuando se almacena a una temperatura y humedad relativa moderadamente bajas. La semilla genética se separa e identifica cuidadosamente para evitar que se mezcle con otros lotes de semilla. Si surgen preguntas acerca de las características varietales, la semilla genética es la fuente más importante de información.

Terminada la latencia, parte o todos los 700 kg de semilla genética se siembran nuevamente en la serie final de pruebas regionales y en la estación experimental para producir semilla básica. El área sembrada depende del volumen de semilla que necesitan los productores de semilla registrada en la siguiente cosecha. Los 700 kg producirán de 10 a 20 ha de semilla básica, dependiendo del método de siembra. Veinte hectáreas suministrarán 100 ton de semilla básica, suficientes para transplantar 2500 ha o para sembrar directamente 300 ha para producir semilla registrada.

El fitomejorador normalmente no produce semilla básica pero es responsable de inspeccionar periódicamente los lotes. La decisión final de designar una línea sobresaliente como variedad es el resultado de la inspección de campo y de los datos de las pruebas regionales simultáneas. Una vez que se ha tomado esta decisión, la semilla básica cosechada se entrega por los canales normales de distribución a los productores autorizados de semilla registrada o certificada. En las áreas donde no se

produce semilla registrada o certificada, la semilla básica se puede distribuir directamente a los agricultores comerciales. En esta forma se distribuyó la IR8 por primera vez en Filipinas.

La cantidad de semilla entregada a los productores depende del área utilizada en los pasos de multiplicación previos. Para obtener lotes más grandes de semilla genética y básica comience con más panículas por surco. El transplante durante todo el proceso incrementa enormemente la tasa de aumento de semilla. Las macollas de plántulas de 30 a 40 días de edad algunas veces se retransplantan para ampliar el área de producción de semilla. Se puede esperar un aumento de 1-50,000 kg en menos de un año cuando se transplanta el lote de semilla genética y se siembra directamente la semilla básica. Transplantando en ambas etapas, fácilmente se duplica la tasa de aumento.

La semilla genética o del fitomejorador se produce mediante métodos más sofisticados y complejos en algunas áreas templadas para asegurar una estricta pureza varietal. Pero la segregación residual marginal en caracteres no económicos es rara vez un asunto de importancia en los países en desarrollo en donde la semilla es frecuentemente de calidad dudosa. El método antes descrito produce una cantidad adecuada de semilla en un tiempo mínimo. El número de panículas seleccionadas al comenzar el procedimiento puede obviamente variarse para regular el volumen de semilla genética producida.

Resumiendo, el procedimiento requerido para producir una nueva variedad comprende: las parcelas de observación que se empiezan con la  $F_6$ , los ensayos de rendimiento y pruebas regionales en la  $F_7$  y  $F_8$ , la producción de semilla genética y nuevas pruebas regionales en la  $F_9$ , la producción de semilla básica y las pruebas regionales finales en la  $F_{10}$ . Por lo tanto, un programa que avanza a la tasa de dos generaciones por año debería suministrar semilla de las nuevas variedades a los agricultores aproximadamente cinco años después de haber hecho los cruzamientos.

## **Descripción varietal**

Tan pronto se designa una nueva variedad, el fitomejorador prepara una descripción varietal para registrarla. Estas descripciones son usualmente una enumeración de los rasgos más sobresalientes y de las características de la variedad. Sin embargo, el fitomejorador debe ser cuidadoso en dos aspectos de la descripción varietal.

Primero, no debe ignorar las desventajas varietales en la misma forma que destaca sus ventajas. Por ejemplo, si la variedad es susceptible a una enfermedad o tiende a desgranarse cuando se deja madurar demasiado en el campo, debe incluirlo en la descripción varietal y en cualquier información impresa que acompañe a la semilla. Esto alerta a los agricultores y procesadores y les da tiempo para remediar cualquier situación. Es también infinitamente más fácil describir honestamente la variedad al distribuirla que explicar los defectos después de que éstos aparecen en las fincas o en los molinos.

Segundo, el fitomejorador debe describir cualquier característica en la que influya el medio ambiente, por insignificante que parezca. En algunos casos, puede dar el rango de expresión del carácter; en otros, tendrá que recurrir a la ambigüedad para evitar futuras dificultades. Por ejemplo, cuando las variedades CICA 4 e IR22 se distribuyeron en Colombia, se describieron como no aristadas con base en numerosas observaciones en los ensayos de rendimiento y pruebas regionales. Aunque ambas variedades habían producido pocas aristas pequeñas en los lotes de certificación de semilla en un área pequeña, ninguna de las dos había producido aristas en siembras experimentales subsiguientes. Sin embargo, como originalmente se habían descrito como no aristadas, varios lotes de semilla fueron inicialmente rechazados para la certificación porque unas cuantas plantas tenían aristas. El problema se resolvió después de un largo debate y pruebas de progenie que demostraron que las plantas aristadas no eran mezclas. Todos estos contratiempos se hubieran evitado de haber incluido en la descripción varietal: "puede producir ocasionalmente algunas plantas con aristas cortas". También se han registrado, por ejemplo, segregantes ocasionales con cáscara dorada en una variedad de color pajizo o segregantes pigmentados en variedades incoloras.

Sea cuidadoso al indicar los rendimientos varietales. Se deben incluir comparaciones de rendimiento de la nueva variedad y varias variedades comerciales estándar. No obstante, nunca se deben indicar niveles específicos de rendimiento para cualquier área o conjunto de condiciones. Una declaración como "la variedad A rinde 6 ton/ha en Shangri-La durante la estación lluviosa" sólo acarreará dificultades si los agricultores cosechan menos debido al mal tiempo o al manejo inadecuado.

## CAPITULO 4

# Establecimiento de los Objetivos de Mejoramiento Genético

El éxito del fitomejoramiento depende de tres factores principales:

- una definición clara de objetivos específicos,
- recursos genéticos satisfactorios de las características deseables, y
- pruebas adecuadas para identificar las plantas superiores.

Los objetivos inciertos como “mejoramiento para alto rendimiento” sólo producen frustración y fracaso. La pregunta pertinente es “¿qué factores limitan el rendimiento?”. Tales factores podrían incluir tallos débiles y volcamiento; macollamiento inadecuado; sombrero mutuo debido a la morfología foliar pobre; período de crecimiento inapropiado debido al clima; sensibilidad a la temperatura baja; susceptibilidad a enfermedades o insectos; o combinaciones de éstos y otros factores. Una vez que se conocen los problemas básicos, pueden establecerse los objetivos específicos del mejoramiento genético.

Para que las variedades nuevas con tipo de planta mejorado sean aceptadas comercialmente es necesario que tengan las características específicas de grano preferidas en cada área consumidora. Es paradójico que las preferencias de consumo por apariencia del grano y calidad de cocción sean más pronunciadas en áreas con carestía permanente de alimentos. Pero dichas preferencias existen, y es más fácil cambiar las características de calidad que alterar las preferencias humanas.

Las primeras variedades semienanas mejoradas entregadas por el IRRI y otros programas tenían calidades de cocción y molienda relativamente inferiores, que afectaron su tasa de adopción. En casos extremos, los agricultores que sufrieron las consecuencias de la falta de calidad volvieron a las variedades tradicionales de bajos rendimientos. La prensa divulgó

estos problemas iniciales, lo que llevó a algunos investigadores a concluir que el tipo de planta enana no podría combinarse con una calidad de grano superior. Afortunadamente, esto no es cierto. No hay barreras para unir tipos de planta mejorados con cualquier combinación de tamaño de grano, apariencia, o calidad de cocción.

Ya existen fuentes excelentes de casi todos los caracteres importantes de la planta y grano dentro de las innumerables variedades de arroz, y otras podrían encontrarse a través de futuras selecciones. Los fitomejoradores generalmente no han usado especies estrechamente relacionadas con *Oryza sativa* para mejorar el arroz cultivado, excepto en el caso de la resistencia a la enfermedad viral del enanismo transmitido por el saltahojas café.

La tendencia actual es proponer la inducción de mutaciones como fuentes de variabilidad de una característica, especialmente entre los investigadores que desconocen la existencia de la diversidad natural. Una revisión de la literatura sobre mejoramiento genético por mutación en arroz muestra que el mayor volumen de trabajo se ha hecho para inducir caracteres comunes y naturalmente abundantes como tallos cortos, precocidad, tamaño de grano, resistencia al desgrane, o alto macollamiento. No hay razón alguna para inducir mutaciones como fuentes adicionales de caracteres a costa de las prácticas convencionales de mejoramiento, cuando la mayoría de las fuentes naturales no han sido todavía explotadas. Una evaluación realista de las prioridades de mejoramiento, basada en las necesidades de la industria y de los consumidores de arroz, mostraría que el mejoramiento genético por mutación es normalmente más perjudicial que benéfico durante los primeros años de los programas de mejoramiento tanto en regiones tropicales como templadas. No obstante, la inducción de tallos sólidos, endosperma amarillo, o glumas frágiles, como las del trigo, sería una contribución extraordinariamente valiosa al mejoramiento del arroz. El uso de mutaciones inducidas debería limitarse exclusivamente a un programa establecido, altamente productivo, que haya agotado la mayoría de las fuentes o caracteres naturales.

Un ejemplo significativo de un mejoramiento genético por mutación exitoso en un programa que ya ha alcanzado la madurez para hacerlo, es el reciente desarrollo de japónicas enanas en California. La introducción convencional del gen enano de donantes tropicales índica hubiera encontrado serias dificultades de esterilidad híbrida y recuperación de las características del grano japónica y tolerancia al frío. Los investigadores de California indujeron el porte bajo en su variedad alta Calrose mediante la irradiación gama de cobalto-60. La nueva variedad derivada, Calrose-76, es similar a su progenitor, a excepción de sus tallos considerablemente más cortos, lo que reduce el volcamiento. El gen recesivo simple, inducido para

porte bajo, es aparentemente idéntico al ampliamente utilizado en los programas de mejoramiento de enanos índica.

Aunque hay disponibles excelentes fuentes de caracteres deseados, las mejores frecuentemente no se usan porque los fitomejoradores no están conscientes de su existencia. Los fitomejoradores deberían reconocer su obligación de diseminar la información concerniente a las fuentes de caracteres importantes recientemente descubiertas. El IRRRI mantiene una colección mundial masiva de tales arces, la mayoría de los cuales han sido evaluados por diferentes caracteres. El fitomejorador interesado puede solicitar información detallada.

El arroz ha sido objeto de considerables estudios genéticos, muchos de los cuales han sido útiles a los fitomejoradores de arroz, pero desafortunadamente también se ha gastado mucho tiempo y dinero estudiando caracteres de poco o ningún valor económico. Más aún, la genética de varios caracteres importantes no ha sido completamente estudiada, incluyendo la proteína total, distribución o contenido de aminoácidos, contenido de amilosa, temperatura de gelatinización, opacidad del endosperma, tolerancia a temperatura baja, y resistencia a muchas enfermedades, insectos y problemas del suelo.

Pero los fitomejoradores generalmente no tienen tiempo para estudios genéticos. Cuando trabajan con un carácter de herencia desconocida, no pueden esperar los análisis genéticos para iniciar los cruzamientos y la selección. La información genética no es indispensable para el éxito del mejoramiento, como lo comprueba el extraordinario mejoramiento del arroz hecho por el hombre primitivo así como las variedades mejoradas desarrolladas recientemente por los científicos. No obstante, la información sobre formas de herencia y estimaciones de la heredabilidad hacen más efectivos los procedimientos de selección.

Los fitomejoradores de arroz son particularmente afortunados porque muchos caracteres importantes son simplemente heredados y los genes mayores parecen jugar un papel excepcionalmente prominente en la herencia cuantitativa. A pesar de ésto, los ligamientos genéticos desfavorables nunca han prevenido la recombinación de algún carácter importante, toda vez que siempre se han encontrado donantes sin problemas de ligamiento. Otro aspecto común y peculiar del arroz es que muchos caracteres heredados cuantitativamente se fijan rápidamente, acentuando la necesidad de probar la expresión del carácter en poblaciones grandes en la  $F_2$  y  $F_3$ .

La mayoría de las pruebas actualmente usadas para objetivos específicos hacen la diferencia entre plantas buenas y malas, pero cualquier prueba

puede mejorarse aún más. La evaluación de unos cuantos caracteres importantes es aún insatisfactoria debido a que las pruebas disponibles son costosas, delicadas, poco confiables, ineficientes o requieren mucho tiempo para poder aplicarlas a un gran número de plantas individuales. Como ejemplos se pueden citar el contenido de proteína, la eficiencia fotosintética, el contenido de amilosa, la calidad de molienda, el desgrane y la resistencia al añublo de la vaina y muchas plagas. De importancia crucial es el desarrollo de técnicas de evaluación confiables para la resistencia de campo a la piricularia, al saltahoja café y otras plagas variables en plantas adultas, con el objeto de complementar o reemplazar las pruebas artificiales de plántulas efectuadas con facilidades especiales. Los fitomejoradores de arroz tienen una gran oportunidad para aumentar la eficiencia de éstas y otras pruebas.

Los capítulos siguientes tratan los aspectos más críticos de los objetivos específicos del mejoramiento genético para los trópicos: caracteres, fuentes, herencia, técnicas de prueba, y dificultades en el manejo de los caracteres.

## CAPITULO 5

# Mejoramiento Genético de Características Agronómicas y Morfológicas

### **Altura, resistencia al volcamiento y respuesta al nitrógeno**

Los tallos cortos y fuertes, más que ningún otro carácter, determinan la resistencia al volcamiento, una proporción favorable de paja:grano, la respuesta al nitrógeno, y la alta capacidad de rendimiento. El acame o volcamiento temprano de tallos largos, delgados, altera la distribución de las hojas, aumenta el sombriío mutuo, interrumpe el transporte de nutrientes y fotosíntatos, causa esterilidad, y reduce el rendimiento. Los tallos cortos y gruesos resisten el volcamiento y reducen las pérdidas de respiración de los tallos.

El avance más sobresaliente en el mejoramiento genético del arroz en años recientes fue el descubrimiento de la importancia y utilidad de las variedades chinas enanas Dee-geo-woo-gen, I-geo-tze, y Taichung Native 1. Estas variedades y otras enanas menos conocidas no inducidas o inducidas por radiación portan el mismo gen mayor recesivo para tallos cortos. Ellas son únicas en cuanto a que su enanismo no afecta las panículas ni las espiguillas. El gen de Dee-geo-woo-gen para enanismo se introdujo en un gran número de variedades y líneas índicas mejoradas y, más recientemente, en japónicas. Estos materiales mejorados son más útiles como progenitores que las tres variedades chinas enanas originales porque a su porte bajo aúnan muchos otros caracteres deseables.

Existe un número limitado de fuentes útiles de tallo corto, rígido, que incluyen variedades de porte bajo con herencia poligénica y enanas mendelianas. Se conocen algunas variedades con tallos cortos heredados cuantitativamente como Century Patna/SLO 17. Estas son menos útiles que algunas de las enanas monogénicas porque, cuando se cruzan con genotipos altos, segregan amplia y continuamente para la altura de la planta. La mayoría de las variedades enanas mutantes de herencia simple

tienen panículas y granos anormales, y no son útiles como progenitores debido a la dificultad para recombinar tallos cortos con inflorescencias normales. En los programas de fitomejoramiento no se ha encontrado una variedad enana útil con un solo gen dominante que controle el porte bajo.

La heredabilidad del enanismo es alta y fácil de identificar, seleccionar y recombinar con otras características. Las líneas segregantes enanas se pueden identificar con bastante exactitud entre las plántulas arrancadas de los semilleros, lo que permite descartar las plántulas demasiado altas en poblaciones que van a ser transplantadas. En los estados posteriores de desarrollo, las enanas se identifican fácilmente en el campo. Ellas siempre tienen tallos y hojas cortas, a menudo de una coloración verde azulada profunda. Las plantas enanas usualmente, pero no siempre, macollan profusamente.

Las líneas segregantes enanas varían muy poco en altura, presumiblemente por la acción de un gen menor. Aunque unas cuantas son tan cortas que son indeseables, la gran mayoría caen dentro de los límites útiles de 80 a 100 cm, y algunas alcanzan los 120 cm bajo ciertas condiciones.

Sin embargo, no todas las plantas enanas tienen tallos fuertes; algunas se vuelcan. Aunque la resistencia al volcamiento está relacionada principalmente con la poca altura, depende también de otros caracteres incluyendo el diámetro del tallo, el espesor de las paredes del tallo y el grado hasta el cual la vaina de las hojas se adhiere a los entrenudos. El fitomejorador no puede evaluar en el campo las características anatómicas o la adherencia de la vaina, pero sí puede aplicar altos niveles de nitrógeno y observar la altura y grosor del tallo. Es casi imposible identificar y evaluar las segregantes enanas en poblaciones deficientes en nitrógeno. Una manera de estimar la fortaleza del tallo de una planta es doblarlo hacia el suelo y luego soltarlo. La rapidez y el grado hasta el cual recupera su posición vertical es un indicador confiable de la fortaleza del tallo y la resistencia al volcamiento.

Medir directamente la altura de la planta en las generaciones segregantes toma mucho tiempo. Comience en las parcelas de observación midiendo cerca de cinco plantas por parcela, desde el nivel del suelo hasta la punta de la panícula más alta. Aunque tanto la longitud de la panícula como la altura del tallo pueden medirse, el tamaño de la panícula varía relativamente poco entre líneas. No es práctico medir solamente la altura del tallo desde el nivel del suelo hasta la base de la panícula.

El rechazo de líneas con base en el acame debe hacerse con precaución en las parcelas de observación y ensayos de rendimiento. Por ejemplo, la

variedad IR20, la cual tiene tallos más bien delgados, presentaba siempre mayor volcamiento que la IR8 y otras líneas en las evaluaciones en estaciones experimentales y ensayos regionales de rendimiento con altos niveles de nitrógeno. No obstante, la IR20 era usualmente de volcamiento tardío, lo cual no afectó mucho el rendimiento. A pesar de cierta preocupación por su tendencia al acame, la IR20 se distribuyó a los agricultores debido a su resistencia superior a enfermedades e insectos. Rápidamente esta variedad llegó a ser comercialmente importante en las áreas de transplante del Asia tropical en donde nunca se vuelca porque el agricultor usa poco nitrógeno.

Durante los años 60, los fitomejoradores hicieron excelentes progresos en el desarrollo de otras variedades enanas que respondían a fuertes aplicaciones de nitrógeno. Estas variedades cubrieron rápidamente las áreas tropicales donde los agricultores tenían buenos suelos y control de aguas y podían arriesgarse a invertir en nitrógeno. Las dosis altas de nitrógeno eran rentables debido a los precios relativos del fertilizante y del grano, pero la aplicación de niveles masivos de este elemento al material de mejoramiento casi siempre impedía la selección de segregantes con la habilidad de adaptarse bien a la deficiencia de nitrógeno.

El reciente descubrimiento de las bacterias anaeróbicas que fijan cantidades cuantiosas de nitrógeno en suelos con arroz de fanguero abre un campo fascinante totalmente nuevo relacionado con la respuesta al nitrógeno. Estas bacterias aparentemente usan los exudados de la raíz y los desechos como fuentes de energía. Parece lógico que las variedades difieran tanto cuantitativa como cualitativamente en la producción de estos substratos energéticos. De ser así, entonces las variedades podrían seleccionarse para que puedan crecer y rendir mejor a niveles moderados del nitrógeno natural del suelo. En otras palabras, quizás se puedan mejorar genéticamente las variedades para que toleren las deficiencias de nitrógeno.

Aunque esta posibilidad parece algo rebuscada a primera vista, sería de inmenso valor económico para las vastas regiones de secano donde la producción de arroz depende en tan alto grado de las condiciones del tiempo que los agricultores no pueden arriesgar su dinero en fertilizantes. Además, el costo de éstos está aumentando en la medida en que el combustible de fuentes fósiles se está agotando, y el público está cada vez más preocupado con la contaminación del agua. Estos factores sugieren que los fitomejoradores de arroz y microbiólogos deberían investigar la posibilidad de mejorar genéticamente las variedades para que toleren niveles bajos de nitrógeno.

Este tema es tan nuevo que, hasta mediados de 1977, ningún fitomejorador había comenzado a desarrollar una metodología para evaluar las diferencias entre progenitores y progenies. Pero un procedimiento podría ser eliminar la adición de nitrógeno a por lo menos algunas de las generaciones segregantes, por cuanto este elemento podría inhibir su fijación bacteriana. Un regreso al tipo de planta no mejorado, alto, frondoso, probablemente sería un paso atrás. Un mejor tipo de planta puede ser de altura moderada con hojas cortas.

## Habilidad de elongación

Ciertas áreas arroceras en Asia y Africa tropicales (y áreas potenciales de América Latina) están sujetas a inundaciones profundas y prolongadas que van de 1 a 5 m. En tales áreas, los agricultores siembran arroces flotantes con entrenudos que se alargan a medida que el agua sube y con raíces adventicias en los nudos superiores. Estas variedades rinden poco, y el fitomejoramiento no se ha orientado a desarrollar variedades mejoradas para tales condiciones extremas. En el momento, la producción de arroz en áreas de aguas profundas puede aumentarse solamente construyendo costosos drenajes y sistemas de control de aguas, o desarrollando técnicas para cosechar en aguas profundas antes de que los campos se drenen naturalmente y las plantas sufran volcamiento.

Pero en las grandes áreas arroceras del Asia y en las inmensas áreas potenciales para arroz en América Latina, los campos no se inundan a más de 40 a 100 cm, y a menudo por períodos cortos. Los genes que controlan el carácter flotante son también valiosos para las variedades mejoradas para estas áreas que se inundan a profundidades moderadas.

A través de programas cooperativos con Tailandia y Bangladesh, el IRRI ha cruzado variedades de aguas profundas con variedades enanas mejoradas y ha seleccionado líneas que combinan el hábito flotante con el enanismo, tallos fuertes, hojas erectas, y buena habilidad de macollamiento. Las plantas con ambos genes, flotante y del enanismo, pueden ser superiores a las flotantes tradicionales o a las variedades altas no flotantes para áreas de inundación limitada. Los híbridos permanecen enanos en aguas superficiales pero se alargan a medida que el agua sube. Los científicos están trabajando en el desarrollo de variedades enanas para estas aguas profundas con sensibilidad débil a fuerte al fotoperíodo, diferentes períodos de maduración y tipos de grano. Las selecciones del cruce IR442 tienen muy buenas características pero carecen de sensibilidad al fotoperíodo y resistencia adecuada a enfermedades. Las líneas IR442 son

particularmente promisorias como progenitores para cruzamientos futuros. Los genes flotantes en las líneas IR441 provienen de Leb Mue Nahng y los genes enanos de una selección de Peta\*2/Taichung Native 1. Hay disponibles muchas más fuentes de genes flotantes en la colección del IRR1 o en los programas nacionales en Asia tropical. Aparentemente, todas las variedades flotantes son sensibles al fotoperíodo y la mayoría tienen mala calidad de grano.

Probablemente varios genes controlan el hábito flotante, aunque en trabajos recientes se ha mencionado una herencia doble o triple. Los segregantes enanos flotantes son difíciles de identificar; se requieren condiciones especiales de prueba que no están disponibles en todos los centros internacionales. Para probar la tolerancia al agua profunda, el nivel del agua se aumenta gradualmente después de que las plantas pasan el estado de macollamiento y luego se mantiene a una profundidad de 60 a 100 cm. Dichas pruebas usualmente se efectúan en lotes nivelados con diques altos o en áreas planas que están invariablemente expuestas a inundación natural profunda.

Una técnica más apropiada puede ser sembrar en lotes con pendiente para evaluar el comportamiento de la línea a diferentes profundidades del agua.

Para continuar las pruebas, se deben seleccionar los segregantes que emergen a través del agua, pero que no se alargan excesivamente, siempre y cuando macollen bien y produzcan rendimientos normales. La mejor forma de manejar tales características es un sistema masal modificado que comprenda grandes poblaciones, selección estricta para alargamiento en profundidades moderadas comenzando en la  $F_2$ , e intercruzamientos de los segregantes enanos mejor adaptados.

## **Vigor vegetativo**

Las plantas con vigor vegetativo inicial (que llenan rápidamente los espacios entre plantas y surcos) son deseables si tal vigor no conduce a un crecimiento excesivo y al sombrío mutuo después de que comienzan a formarse las panículas. El vigor inicial es tan importante para siembras directas como para el trasplante por cuanto disminuye la competencia de malezas, compensa las pérdidas de plantas y las bajas densidades de siembra y contribuye a que el cultivo obtenga su área foliar crítica a la floración. El vigor está asociado con varias combinaciones de emergencia y desarrollo rápidos de plántulas, precocidad y alto macollamiento, hojas

moderadamente largas e inicialmente flácidas, y un aumento temprano, rápido en la altura de las plántulas. El vigor vegetativo es bajo en tipos moderadamente cortos, de pobre macollamiento, incluyendo variedades de los Estados Unidos y Surinam, así como la mayoría de las variedades de secano y japónicas. Unas pocas variedades altas, de bajo macollamiento, adaptadas a la siembra directa son muy vigorosas durante el crecimiento inicial. El vigor inicial es usualmente alto en las variedades tropicales no mejoradas, pero su follaje suele ser excesivo en la floración. Además son demasiado altas y propensas al acame. Varios tipos indica, enanos, incluyendo el CICA 4, y otras selecciones del cruzamiento IR930, tienen excelente vigor vegetativo combinado con flaccidez inicial de hojas, hábito erecto de la planta adulta, y una tasa de crecimiento lenta después de que alcanzan el área foliar crítica. Aunque las líneas enanas varían grandemente, su vigor inicial es usualmente menor que el de las variedades tradicionales altas.

Los materiales deberían clasificarse cuando se observan diferencias claras en el vigor inicial en los viveros pedigrí, o sea aproximadamente 40 a 50 días después de la germinación de la semilla, aunque puede ser más tarde en áreas menos cálidas o si el nitrógeno es deficiente. El vigor no se puede clasificar con exactitud en los semilleros antes del trasplante. Es difícil evaluar el vigor en las plantas individuales, razón por la cual primero se toman notas de cada línea comenzando en la  $F_3$  y se continúa hasta los ensayos de rendimiento. El material se clasifica con base en una escala de uno a nueve.

Cuando las variedades enanas vigorosas se cruzan con variedades no vigorosas de bajo macollamiento, un solo retrocruzamiento a los progenitores vigorosos aumenta grandemente la probabilidad de encontrar familias  $F_2$  y líneas  $F_3$  útiles. Aunque la herencia del vigor inicial no ha sido estudiada concienzudamente es obvio que esta característica es cuantitativa. Desafortunadamente, un buen vigor inicial no se ha combinado todavía con la maduración muy precoz, pero el vigor inicial se combina fácilmente con otros caracteres importantes tales como poca altura, madurez intermedia, e insensibilidad al fotoperíodo. Aunque la heredabilidad del vigor inicial es baja, la evaluación y la selección pueden dar como resultado un avance mensurable del mejoramiento genético.

## **Habilidad de macollamiento**

Una combinación de la habilidad de alto macollamiento y una agrupación compacta de tallos son características deseables para todos los

arroceros. Los tallos compactos, moderadamente erectos, permiten que las macollas reciban mayor radiación solar y, por consiguiente, el sombrío mutuo por unidad de superficie es menor. En las plantas mejoradas, se prefiere un fuerte macollamiento al macollamiento medio o bajo. Como las variedades enanas no tienen un índice de área foliar óptimo, el macollamiento alto no ocasiona el crecimiento excesivo de la planta ni el sombrío mutuo.

Algunos científicos argumentan que una sola macolla es mejor para desarrollar el máximo potencial de rendimiento en algunos cereales. A densidades altas de semilla o plántulas, las cuales son necesarias para obtener altos rendimientos de arroz, las variedades que macollan profusamente formarán pocos tallos por planta pero darán una producción total más alta que las variedades de bajo macollamiento inherente. Un buen macollamiento compensa las plantas que se pierden con densidades de siembra bajas, pero las variedades con capacidad de macollamiento limitada carecen de esta plasticidad. En consecuencia, el macollamiento alto es deseable para lograr una productividad máxima con poblaciones moderadas y densas. Notamos con interés que las recientes variedades tipo japónica del Japón muestran un continuo incremento en el número de macollas junto con una mayor capacidad de rendimiento.

Desarrollar buenos tipos de plantas con alta capacidad de macollamiento es más bien sencillo. Muchas fuentes de alto macollamiento se encuentran disponibles en arrozales tradicionales tropicales. Cuando se reduce el tamaño del tallo, su habilidad de macollamiento generalmente no disminuye e incluso puede aumentar. Los cruzamientos que incluyen un progenitor de buen macollamiento muy a menudo producen segregantes que macollan fuertemente.

La cantidad de macollas se hereda cuantitativamente. Su heredabilidad fluctúa de baja a intermedia dependiendo de las prácticas culturales usadas y de la uniformidad del suelo. Aunque frecuentemente se le asocia con el vigor inicial en materiales de poca altura, el número de macollas se hereda independientemente de todos los otros caracteres principales. En muchos cruces, la rigidez o compactibilidad de las macollas es recesiva a una distribución dispersa de los tallos.

La evaluación de la cantidad y compactibilidad de macollas en el campo es relativamente simple, aún con material sembrado directamente, si las parcelas de mejoramiento están localizadas en suelo uniforme, las malezas se controlan completamente, y el nitrógeno y otros nutrientes son adecuados. La estimación visual del número de macollas es mucho más rápida y casi tan precisa como el conteo de los tallos de varias plantas. Es

posible seleccionar plantas individuales por el número de macollas en la  $F_2$ , pero la clasificación de las líneas empezando en la  $F_3$  es más exacta. La distribución dispersa e indeseable de los tallos se detecta fácilmente en plantas individuales después de la floración.

El macollamiento alto como un objetivo del mejoramiento genético requiere cuidado particular en los programas de arroz de siembra directa. Hay evidencia empírica contundente de que las poblaciones sembradas directamente conducen a una selección natural lenta, pero progresiva, de las poblaciones en contra de un buen macollamiento y eventualmente produce materiales de bajo macollamiento. Por ejemplo, esto parece haber ocurrido por muchos años en los programas de arroz de siembra directa de los Estados Unidos y Surinam. Por el contrario, los materiales mejorados que se transplantan no parecen sufrir esta selección natural en contra de la habilidad de macollamiento. Esta pérdida de macollamiento se puede contrarrestar sembrando a densidades bajas en la  $F_2$  para facilitar la identificación de plantas profusamente macolladoras, mediante una selección estricta para alto macollamiento, y, cuando sea posible, transplantando periódicamente la  $F_2$  y las parcelas de observación.

## **Características foliares**

### **Erguimiento de la hoja**

El carácter más importante de la hoja es el erguimiento después de la iniciación de la panícula, asociado con la alta capacidad de rendimiento. Las hojas erectas permiten mayor penetración y mejor distribución de la luz dentro del cultivo y, por lo tanto, mayor actividad fotosintética.

Todas las progenies de fuentes de enanismo chinas tienen hojas de moderada a altamente erectas después de la iniciación de la panícula. Las hojas de algunas líneas son excesivamente erectas; esta característica está a menudo asociada con el bajo macollamiento, que ocasiona una pérdida de interceptación de la luz. Las hojas de unas cuantas variedades enanas, incluyendo las selecciones IR930, son algo flácidas durante el crecimiento vegetativo pero se tornan erectas cuando comienza a formarse la panícula. Estas son probablemente más deseables que las hojas que son erectas durante todo el ciclo de vida, ya que contribuyen al vigor vegetativo inicial.

Las hojas erectas parecen ser el resultado de un efecto pleiotrópico del gen enano; por lo tanto, esta característica posee un modo recesivo simple de herencia. La característica de hoja erecta es altamente hereditaria, se

observa fácilmente en la floración inicial y es fácil de clasificar visualmente en surcos pedigrí o líneas puras. En el CIAT y en el IRRI usualmente no se registra el erguimiento de las hojas en los libros de campo, pero las selecciones altas con hojas flácidas se desechan automáticamente, antes y después de la iniciación de la panícula. Las líneas que tienen hojas flácidas antes de que la panícula comience a formarse y hojas erectas después, son especialmente valiosas.

### **Longitud, ancho y grosor de la hoja**

La longitud de la hoja es supremamente variable en el arroz. Como el ángulo de la hoja está asociado directamente con la longitud, las hojas cortas son más erectas que las largas. Las hojas cortas están distribuidas más uniformemente de tal suerte que el sombrío mutuo es menor y la utilización de la luz más eficiente.

Todas las variedades enanas tienen hojas cortas. Las variedades altas usualmente tienen hojas largas, aunque algunas son relativamente cortas. Estas fuertes asociaciones sugieren que la longitud de la hoja en ambos tipos enanos y altos es un efecto pleiotrópico de los genes para la altura de la planta.

La anchura de la hoja es menos variable que la longitud pero hay diferencias obvias dentro de los materiales enanos y altos. Aunque se ha puesto poca atención al ancho en relación con la habilidad de rendimiento, las observaciones de campo sugieren que son preferibles las variedades con hojas más angostas que aquellas como las de IR8. Varias líneas más recientes combinan hojas angostas, vigor inicial, buen macollamiento, panículas largas, y una excepcional habilidad de rendimiento. Se desconoce la magnitud de la asociación genética entre estas características. Se presume que las hojas angostas contribuyen a los mayores rendimientos por cuanto están distribuidas más uniformemente que las anchas y causan menos sombrío dentro del follaje. Se sabe poco acerca de la herencia o el comportamiento del ancho de la hoja cuando se somete a mejoramiento genético. Es difícil calcular visualmente las hojas anchas en plantas individuales, aunque los segregantes con hojas angostas pueden identificarse observando un surco a la vez.

El grosor de la hoja ha sido relacionado con la alta habilidad de rendimiento por tener una tasa fotosintética mayor por unidad de área foliar. Sin embargo, algunas variedades altamente productivas tienen hojas relativamente delgadas ya sea que se las transplante o se las siembre directamente. Esto sugiere que esta característica no tiene una relación directa importante con el potencial de rendimiento. El grosor de la hoja puede tener valor para algunas áreas porque está directamente asociado

con la rigidez de la hoja. En los programas de fitomejoramiento hasta ahora no se está evaluando el grosor de la hoja porque es imposible clasificarlo visualmente con una exactitud consistente.

Rara vez se registran notas sobre la longitud de la hoja en las líneas en mejoramiento hasta la cosecha, toda vez que esta característica es muy fácil de evaluar visualmente. Las hojas cortas se recuperan automáticamente en las selecciones enanas debido al efecto pleiotrópico del gen enano en la longitud de la hoja. Para tipos de altura intermedia de áreas de secano con buena distribución de lluvias, pueden ser deseables hojas un poco más largas para contrarrestar la competencia con las malezas.

### **Rigidez, color y senescencia de la hoja**

La rigidez de la hoja es deseable únicamente en áreas donde los vientos intensos las desgarran y las parten. La rigidez parece estar asociada directamente con el grosor de la hoja y la lignificación de los tejidos foliares. La mayoría de las variedades japónicas y muchas estadounidenses son buenas fuentes genéticas para rigidez de la hoja. No se han desarrollado técnicas artificiales para probar este carácter; la rigidez solamente se puede evaluar y seleccionar cuando los vientos fuertes causan daño.

Las hojas verde oscuro se asociaban antiguamente con la habilidad de alto rendimiento debido a que favorecían la absorción de la luz. Aunque el color de la hoja eventualmente podría afectar el rendimiento, varias variedades enanas de alto rendimiento, incluyendo la CICA 4, tienen hojas pálidas. Esto sugiere que el color de la hoja es de poca importancia práctica en la selección por capacidad de rendimiento.

Algunos fitomejoradores opinan que la senescencia lenta de las dos o tres hojas superiores es deseable, porque, teóricamente, activa la fotosíntesis y la formación del grano hasta que éste está completamente maduro. Aún cuando esta tesis no está respaldada por ninguna evidencia fisiológica ni por los resultados del mejoramiento genético, las observaciones de campo sugieren que la senescencia lenta de la hoja puede ser importante. Los arroces varían considerablemente en cuanto a la tasa de senescencia de la hoja; algunos, incluyendo la mayoría de las variedades japónicas, todavía tienen hojas verdes activas en el momento de la cosecha mientras las hojas de otros comienzan a deteriorarse antes de madurar el grano. La senescencia retardada y la rigidez de las hojas a menudo se encuentran juntas en las mismas variedades, lo cual pudiera indicar una causa común fisiológica o anatómica. La senescencia lenta de las hojas superiores es fácil de evaluar visualmente cuando el grano ya ha madurado.

Los fitomejoradores carecen de información exacta sobre la herencia, heredabilidad, y la respuesta de la rigidez, el color y la senescencia lenta de

las hojas al mejoramiento genético. Es poco probable que actualmente exista un programa que considere estas características como objetivos importantes del fitomejoramiento o que esté basando la selección en ellos.

### **Hojas glabras**

Las hojas y espiguillas de la mayoría de las variedades del arroz son pubescentes, pero las de unas pocas son glabras o lisas, con poco o ningún tricoma bicelular. Sin embargo, ninguna variedad tiene hojas pubescentes y glumas lisas, o viceversa. Los arroces glabros no irritan la piel de los obreros durante la cosecha, desgrane, secamiento y molinería; por consiguiente, la glabrescencia es bastante deseable, particularmente donde el cultivo de arroz está altamente mecanizado. Es dudoso que algún programa tropical dé mucho énfasis a la glabrescencia. Las partes lisas de las plantas no están aparentemente asociadas con la habilidad de rendimiento o la reacción al ataque de insectos o enfermedades.

Todas las variedades importantes del sur de los Estados Unidos, algunas de Surinam, y unas cuantas índicas son lisas. Aparentemente todas las variedades japónicas son pubescentes. Las variedades estadounidenses son buenas fuentes parentales de glabrescencia, por cuanto también poseen otras características deseables. Las buenas variedades enanas, lisas, son preferibles al material de los Estados Unidos, y algunas están disponibles en el IRRI.

Un solo gen recesivo controla la glabrescencia, y el medio ambiente no afecta su expresión. Debido a que la glabrescencia es excepcionalmente fácil de evaluar en plantas individuales, la selección puede iniciarse en la F<sub>2</sub> tan pronto como las plántulas estén creciendo rápidamente, aunque es más conveniente trabajar con plantas más grandes. Para evaluarlas, pase los dedos suavemente sobre la superficie de cualquier hoja desde el ápice hasta la base. Las hojas glabras son suaves al tacto; las pubescentes son ásperas. La reacción de la hoja caracteriza siempre la condición de las espiguillas. A pesar de su herencia simple y la facilidad de evaluación, el CIAT ha encontrado considerables dificultades para combinar la glabrescencia con tipos de planta y grano excelentes, aunque probablemente se trata de un problema temporal.

### **Hojas bandera**

Las hojas bandera son importantes para la habilidad de rendimiento por cuanto suministran directamente fotosíntatos a las panículas. También ayudan a estabilizar el rendimiento, ya que las hojas bandera erectas, moderadamente largas, tales como las de CICA 4, ayudan a proteger el grano maduro contra el daño ocasionado por los pájaros. Como las panículas de

los arroces enanos están normalmente dentro del follaje, la longitud de la hoja bandera determina la cantidad de protección. Las hojas bandera de las variedades altas rara vez cubren totalmente las panículas.

La longitud y rigidez de las hojas bandera son variables. Muchas variedades enanas, como la IR.22, tienen hojas bandera cortas y erectas que brindan poca protección a la panícula; otras tienen hojas bandera largas y flácidas aunque las hojas interiores son cortas y erectas. O sea que el tamaño de las hojas bandera parece ser independiente del de las hojas más bajas.

Muchos fitomejoradores descartan las líneas con hojas bandera excepcionalmente largas —que se extienden 30 cm o más por fuera de la panícula— porque sospechan que esta característica estimula el sombrío mutuo. Ninguna de las variedades modernas tiene hojas bandera excepcionalmente largas. Para las áreas expuestas al daño de los pájaros, la protección suministrada por las hojas bandera largas y erectas justificaría cualquier pérdida posible debida al sombrío; sin embargo, donde el daño de los pájaros es insignificante, pueden preferirse hojas bandera erectas y pequeñas. Por otra parte, las hojas bandera largas también son indeseables para áreas húmedas que carecen de facilidades modernas de secamiento de granos, ya que el grano se seca más rápidamente en el campo cuando las hojas bandera son cortas.

Se sabe poco acerca de la herencia de la longitud o del ángulo de la hoja bandera aunque es aparentemente independiente del gen enano que controla la longitud de los tallos y de las otras hojas. Las deficiencias nutricionales, particularmente de nitrógeno, y las densidades altas de siembra acortan el tamaño de las hojas bandera. Tales factores parecen afectar más la longitud de las hojas bandera que la longitud de las otras hojas.

La longitud y ángulo de las hojas bandera son relativamente fáciles de evaluar tomando la línea como un todo pero no con base en una sola planta. Por lo tanto, la selección para hojas bandera deseables debería empezarse en la F<sub>3</sub> del material genealógicamente mejorado y continuarse por varias generaciones.

## **Caracteres de la panícula**

### **Tamaño**

Muchos investigadores se preocupan innecesariamente por el tamaño de la panícula como un objetivo del mejoramiento, debido probablemente a

que se han clasificado las variedades de arroz en dos tipos: de macollamiento bajo con panículas grandes, y de macollamiento alto con panículas pequeñas. Esta no es una asociación inevitable porque algunas variedades enanas con macollamiento alto tienen panículas intermedias a largas y buena capacidad de rendimiento. No obstante, generalmente hay una asociación compensatoria entre el tamaño de la panícula y la cantidad de macollas; es decir, cuando aumenta el tamaño disminuye la cantidad y viceversa (a menos que el tipo de planta o la eficiencia fotosintética hayan sido mejoradas simultáneamente). Sin embargo, muchos fitomejoradores con experiencia hacen énfasis en la selección de panículas largas y pesadas. Un cruce determinado generalmente no segrega ampliamente por tamaño de panícula, pero algunos producen progenies  $F_2$  que tienen más bien panículas uniformemente largas. El tamaño se calcula visualmente durante el proceso de selección y también pesando en la mano, momentáneamente, una panícula representativa.

Por otra parte, los caracteres de la panícula no causan o determinan estrictamente el rendimiento. Tales características permiten simplemente que el rendimiento sea divisible en subunidades llamadas componentes de rendimiento. A diferencia de la inflorescencia de otros cereales, la panícula de arroz aporta pocos fotosíntatos a la formación del grano. La medición rutinaria de la longitud de la panícula como un criterio de selección para rendimiento probablemente no es productiva. El carácter de la panícula que no ha recibido mucha atención pero que puede ser de valor, es el grosor del raquis. Hay apreciable variabilidad en el diámetro del raquis, el cual se evalúa más apropiadamente a medida que las panículas se cortan con una hoz o navaja. El grosor de los raquis puede estar asociado con el de los tallos. En Costa Rica, los científicos sospechan que un raquis grueso ofrece alguna protección contra la infección tardía del cuello de la panícula por el hongo piricularia.

Deberían esperarse rendimientos más altos de líneas que combinan buen macollamiento con panículas largas. Observaciones de campo recientes sugieren que las hojas moderadamente angostas y un vigor inicial excepcional en materiales enanos están a menudo asociados con un buen macollamiento, panículas largas, y habilidad de rendimiento más alta.

Algunos agricultores de secano favorecido a nivel de subsistencia en Haití y otras partes cosechan el arroz cortando las panículas una por una. Sus variedades combinan altura con bajo macollamiento y usualmente panículas largas. Las variedades modernas de alto rendimiento y fuerte macollamiento con panículas más pequeñas no serán aceptables hasta que se hagan cambios en el control de agua y se cosechen los tallos en vez de las panículas.

### **Panículas compactas**

Las panículas dispersas son consideradas universalmente como indeseables, aunque las variedades de arroz con este carácter no tienen necesariamente menos espiguillas. En algunos casos, la herencia de panículas dispersas es controlada por un solo gen recesivo simple, pero parece ser poligénica en otros. Se sabe poco sobre cuales combinaciones de progenitores tienden a producir panículas dispersas o sobre cómo el medio ambiente afecta su expresión. La selección para la panícula compacta normal es fácil y efectiva en poblaciones segregantes.

### **Exerción de la panícula**

Las panículas deben emerger completamente de la vaina de la hoja bandera, para que parte del entrenudo debajo de la base de la panícula quede expuesto. Las ramas de las panículas más bajas frecuentemente permanecen encerradas porque el entrenudo superior es corto. Tales espiguillas encerradas son estériles o se llenan tan sólo parcialmente y a menudo tienen un color negruzco producido por patógenos secundarios que ocasionan pérdidas moderadas de grano.

La panícula completamente exerta es supuestamente dominante sobre la panícula parcialmente encerrada, pero la temperatura del aire y, posiblemente, el sombrero modifican drásticamente la expresión. En muchas líneas, las panículas sobresalen completamente si el tiempo es caliente después de la iniciación de la panícula, pero la exerción es incompleta si el tiempo es algo frío.

La exerción incompleta de la panícula es un problema grave del fitomejoramiento en algunas áreas. La característica no parece estar asociada con el tipo de planta o grano, pero podría estarlo con las hojas bandera cortas. La exerción no es fácil de evaluar debido a la influencia del medio ambiente, el amplio rango de expresión del carácter y el cubrimiento parcial de las panículas por las hojas bandera en el material enano. En áreas y estaciones sumamente frías, la exerción deficiente puede presentarse repentinamente aun en las líneas avanzadas promisorias; casi todas las plantas muestran este defecto en tales casos. De aquí la importancia de hacer una selección estricta para exerción completa en las generaciones tempranas.

Aunque el trabajo es tedioso, las plantas individuales  $F_2$  pueden doblarse ligeramente hacia el espacio libre entre los surcos para poder inspeccionar las panículas. La época más oportuna para esta labor es cuando el grano está maduro, a fin de evaluar y seleccionar las líneas

simultáneamente. Las líneas pedigri más avanzadas son más fáciles de clasificar con base en el surco. Las plantas indeseables pueden identificarse por una decoloración patogénica negra de las vainas de las panículas con exerción incompleta. Si esta es un carácter importante, se deben evaluar rutinariamente las parcelas de observación y ensayos de rendimiento. Clasifique el grado de exerción mediante una escala numérica simple y registre los resultados en el libro de campo.

### **Duración del período de llenado del grano**

Se ha observado repetidamente que el período prolongado de llenado del grano está asociado con un incremento del rendimiento, aunque no se ha probado que sea precisamente la duración la responsable de los rendimientos altos. El período de la floración a la maduración fluctúa de 45 a 60 días en áreas templadas donde los rendimientos son usualmente altos. Este largo período de llenado del grano es evidentemente un efecto de la temperatura, y no un carácter varietal. En los trópicos, el tiempo de la floración a la maduración promedia cerca de 30 días, pero fluctúa entre 25 y 35 días según la variedad. La duración del período de llenado del grano de las variedades japónicas es con frecuencia ligeramente más largo que el de las variedades índicas. Los fitomejoradores no deberían tener en cuenta por el momento este carácter porque la variabilidad conocida es limitada y la evaluación del material segregante es difícil. No obstante, el descubrimiento de variedades tropicales con períodos largos de llenado del grano sería de gran valor.

### **Peso del grano**

El peso del grano varía de menos de 10 a más de 50 mg/grano. Este carácter es más comúnmente expresado como peso de 1000 granos al 14% de contenido de humedad. El peso de la cáscara es normalmente de 20 a 21% del total del grano. Aparentemente no es posible mejorar el rendimiento del arroz molinado disminuyendo el peso de la cáscara. Sin embargo, el rendimiento se podría aumentar reduciendo el peso del grano, ya que las variedades con granos grandes acumulan más eficientemente el almidón durante el período de maduración. Los de mayor potencial son los tipos de grano largo (6,61 a 7,50 mm), y extra largo (más de 7,50 mm).

El peso del grano largo a extra largo de las variedades populares comerciales fluctúa de aproximadamente 20 a cerca de 35 g/1000 granos.

El grano de muchas variedades modernas de alto rendimiento pesa relativamente poco. Por ejemplo, en las variedades IR28, IR29, IR32 y CICA 4 fluctúa de cerca de 21 a 23 g/1000 granos. Esto indica que es posible obtener altos rendimientos con granos relativamente largos y delgados.

Sin embargo, muchos fitomejoradores creen que el material cuyos granos pesan cerca de 30 g debería dar mejores rendimientos. La estimación visual de las panículas maduras en el campo es suficientemente acertada para guiar la selección. No es práctico determinar en el laboratorio el peso del grano de las selecciones individuales de plantas hechas en las generaciones segregantes, pero se recomienda para la selección en parcelas de observación y ensayos de rendimiento, a fin de confirmar las estimaciones de campo. Únicamente se deben pesar granos normales y bien desarrollados. Tres o cuatro muestras de 100 granos cada una son suficientes para cada selección.

Es importante recordar que los granos son más gruesos a medida que aumenta su peso. Los granos ovalados a menudo tienen una forma asimétrica que favorece la rotura del grano durante la molinería; por consiguiente, es importante tener esto en cuenta para evaluar la calidad de molinería de las líneas seleccionadas por el peso del grano.

## **Fertilidad de las espiguillas**

La fertilidad de las espiguillas es un prerrequisito obvio para obtener altos rendimientos. Con un buen manejo del cultivo y un crecimiento apropiado, se obtienen altos rendimientos para una esterilidad normal de las espiguillas de 10 a 15%. Un porcentaje más alto de esterilidad es preocupante. La esterilidad es común en materiales mejorados de arroz y tiene tres causas principales: temperaturas extremas, volcamiento y esterilidad híbrida o incompatibilidad genética.

Un síntoma importante del daño ocasionado por la temperatura es la esterilidad parcial o completa de las espiguillas. La esterilidad parcial se encuentra también en arroces de tipo de planta pobre que se caracterizan por crecimiento excesivo, sombrío mutuo, y volcamiento temprano.

La esterilidad híbrida es un problema grave en el mejoramiento del arroz. Los fitomejoradores y genetistas de arroz han concentrado más atención en la esterilidad híbrida que en cualquier otro aspecto del mejoramiento varietal, pero sigue siendo un tema de controversia.

Los híbridos intervarietales de los tres grupos principales de variedades de arroz cultivados —índica, japónica y javánica— normalmente tienen apreciable esterilidad en la  $F_1$ . La esterilidad es generalmente más alta en cruces entre grupos que en cruzamientos dentro del mismo grupo. Los híbridos resultantes de cruces entre las variedades tropicales indica y japónica o javánica son casi siempre parcial a completamente estériles, pero la esterilidad también ocurre en híbridos lejanos de indica x indica. Esta esterilidad híbrida intervarietal es más pronunciada en arroz que en otras plantas cultivadas. Aunque los híbridos  $F_1$  tienen comúnmente del 20 al 80% de espiguillas estériles, algunos son completamente estériles.

Los fitomejoradores se interesaron por primera vez en la esterilidad cuando intentaron mejorar variedades índicas cruzándolas con japónicas. Todavía se hacen unos cuantos cruces de indica x japónica e indica x javánica aunque generalmente se obtiene un tipo de planta pobre, con tallos débiles y esparcidos, y caracteres de grano indeseables. El interés por mejorar las variedades índicas con caracteres de japónica decayó cuando los fitomejoradores descubrieron la importancia de las variedades enanas chinas como fuente para un buen tipo de planta, resistencia al acame y respuesta al nitrógeno. No obstante, la situación se ha invertido recientemente y muchos fitomejoradores de japónicas están acudiendo a las índicas como fuentes de caracteres deseables. Esto podría renovar el interés en la esterilidad híbrida.

No se ha llegado a un acuerdo todavía sobre si la esterilidad híbrida obedece a una acción génica o a una diferenciación estructural en los cromosomas de las variedades progenitoras. Este argumento no debería afectar a los fitomejoradores prácticos, porque la esterilidad híbrida, cualquiera que sea su causa, es altamente hereditaria. Las poblaciones  $F_2$  derivadas de híbridos parcialmente estériles segregan amplia y continuamente desde esterilidad alta hasta fertilidad; muchas plantas son más estériles que las  $F_1$ . El grado de fertilidad de las generaciones sucesivas está asociado de tal forma que la fertilidad de la  $F_1$ , por ejemplo, se puede usar para predecir el comportamiento genético de la  $F_2$ .

Algunos investigadores han previsto serias consecuencias de la esterilidad híbrida que podrían retardar los avances en el mejoramiento. Se ha afirmado que las proporciones de segregación son anormales y que los recombinantes  $F_2$  de híbridos parcialmente estériles tienen tasas de fertilidad y de propagación más bajas que los tipos parentales. Sin embargo, análisis cuidadosos de poblaciones  $F_2$  muestran que los recombinantes y tipos parentales son igualmente fértiles y que la esterilidad híbrida no causa una deficiencia de los recombinantes. La esterilidad no

perturba las proporciones normales de segregación en la  $F_2$  para los caracteres monogénicos y cuantitativos.

Se tienen informes de que la esterilidad causa una pérdida progresiva de recombinantes y tipos de planta japónicas en poblaciones segregantes de cruzamientos parcialmente estériles entre japónicas y variedades índicas no mejoradas. Esto sí ocurre pero no como una consecuencia de la esterilidad. La dominancia de los segregantes tipo índica simplemente refleja su mayor habilidad competitiva. El mismo fenómeno ocurre en algunos cruces entre distintos tipos de plantas, aun cuando sean fértiles, a menos que las plantas menos competitivas estén protegidas.

Pero la esterilidad constituye un problema para los fitomejoradores aunque no trastorne las proporciones de segregación ni el número de recombinaciones. Muchos híbridos  $F_1$  son tan estériles que no producen suficiente semilla para la  $F_2$ . Por ejemplo, los cruces de variedades enanas con la variedad Mudgo (una buena fuente de resistencia al saltahojas), son frecuentemente estériles en un 99% en la  $F_1$ . En un caso tan extremo, es obviamente impráctico producir una cantidad enorme de plantas  $F_1$  para cosechar suficiente semilla para la  $F_2$ . La solución es efectuar un solo retrocruzamiento al progenitor con el mayor número de caracteres deseables y descartar las semillas  $F_2$  del cruce simple. Emplee las plantas  $F_1$  altamente estériles como progenitor femenino, y el padre recurrente que suministra suficiente polen como progenitor masculino; cuando la  $F_1$  estéril se utiliza como progenitor masculino, la formación de semilla nunca es satisfactoria. Debido a que la segregación para fertilidad es amplia, se deberían producir más retrocruzamientos de plantas  $F_1$  y descartar las plantas altamente estériles. La técnica de retrocruzamiento simple aumenta grandemente la fertilidad en los retrocruzamientos de familias  $F_2$  y también reduce la segregación extrema en la  $F_2$  para todos los caracteres típicos de cruces amplios.

En razón de la estrecha asociación progenitor-progenie para la fertilidad, la selección temprana y fuerte para la fertilidad reduce rápidamente la esterilidad en poblaciones segregantes. Empiece la selección en la población  $F_2$  de cruces simples, o en la población  $F_1$  de retrocruzamientos, y rechace las plantas altas o moderadamente estériles sin tener en cuenta sus otros caracteres. El grado de esterilidad en cada planta es usualmente fácil de observar en material maduro, aunque los casos dudosos pueden ser difíciles de evaluar en días excepcionalmente brillantes. Este problema puede superarse sombreando las panículas con un libro de campo o un sombrero, o desgranando con la mano una panícula representativa, cuyos granos se dejan caer en el agua para estimar el porcentaje de espiguillas estériles que flotan en la superficie.

## Maduración y sensibilidad fotoperiódica

Las prácticas climáticas y agronómicas predominantes determinan el número ideal de días desde la siembra de arroz hasta la cosecha. El germoplasma varía ampliamente en maduración, lo que permite a los fitomejoradores crear variedades adecuadas para las condiciones y prácticas de cultivo locales. En los trópicos, el período de maduración de las variedades insensibles al fotoperíodo fluctúa de cerca de 90 a 160 días.

La maduración es fuertemente afectada por la temperatura del aire, y en menor grado, por la temperatura del agua. Cuando se siembra directamente, la variedad IR8 madura en 120 días a lo largo de la costa cálida ecuatoriana y en 175 días en la costa fría peruana, aun cuando ambas áreas son geográficamente contiguas. Otros factores menos drásticos pero comunes que influyen en el período de maduración son los métodos de siembra y la fertilización nitrogenada. En general los cultivos sembrados directamente maduran unos cuantos días antes que los transplantados. La deficiencia de nitrógeno acelera un poco la maduración y las aplicaciones elevadas la demoran ligeramente. La deficiencia de zinc y otros problemas del suelo pueden prolongar considerablemente el ciclo de crecimiento.

Las variedades que maduran en más o menos 110 a 135 días usualmente rinden más que aquellas que maduran más pronto o más tarde bajo la mayoría de condiciones agronómicas favorables, aunque las variedades que maduran muy temprano dan excelente rendimiento en el sur de los Estados Unidos, si las prácticas culturales se efectúan oportunamente. Las variedades de maduración tardía son más apropiadas para áreas donde las fuertes lluvias o las aguas profundas durante la estación de cultivo impiden la cosecha de variedades tempranas. Las variedades que maduran muy pronto —en 105 días o menos— son excelentes para áreas subtropicales donde se cosecha la soca, como en el sur de los Estados Unidos, para áreas tropicales donde hay agua disponible sólo por cortos períodos, y para rotaciones intensivas de cultivos.

La mayor parte de las variedades modernas son de maduración intermedia. Hay unas cuantas fuentes de maduración muy tardía, especialmente en Surinam. Las buenas fuentes de maduración muy precoz para los trópicos (90-105 días) incluyen japónicas insensibles al fotoperíodo y varios arroces del sur de los Estados Unidos y del IRRI. Los materiales estadounidenses son mejores que las japónicas como fuentes de madurez muy precoz para los trópicos, a pesar de su bajo macollamiento y vigor inadecuado, porque se combinan mejor con las índicas tropicales.

El período de maduración está controlado generalmente por poligenes, así que la segregación transgresiva es común para ambos tipos de

maduración, tardía y precoz. Aparentemente, un solo gen dominante controla la maduración muy precoz de Belle Patna, Blue Belle, y material relacionado estadounidense, lo que las convierte en fuentes excelentes de precocidad cuando se utilizan como progenitores no recurrentes en retrocruzamientos simples a indicas tropicales.

En casi todos los programas se registran notas sobre el 50% de floración para todas las líneas pedigrí empezando por la F<sub>3</sub>. El registro de la fecha de floración da una medida exacta del período total de maduración, ya que el período de la floración a la maduración del grano es relativamente constante en todas las líneas.

No obstante, registrar la fecha de floración requiere mucho tiempo y observaciones repetidas, y es un ejemplo de una práctica de rutina que se efectúa sin preguntarse sobre su utilidad. El CIAT ha abandonado esta práctica en los materiales de pedigrí y registra únicamente las fechas de floración de las parcelas de observación y ensayos de rendimiento. El tiempo ahorrado se emplea en trabajos más críticos sin que haya pérdida de efectividad en la selección para distintas clases de maduración. Todos los libros de campo incluyen un calendario indicando los días que han transcurrido desde la siembra hasta cualquier fecha dada. La selección para material muy precoz debe realizarse en el período apropiado después de la siembra cuando éste es el único material con grano maduro. Si, por ejemplo, las líneas que maduran después de los 140 días son indeseables, suspenda la selección de campo en esa fecha.

En general, la madurez intermedia y tardía recombinan fácilmente con otros caracteres deseables. El objetivo más difícil del mejoramiento genético es la recombinación de la madurez muy precoz (menos de 105 días) con el rendimiento alto y caracteres morfológicos causales (vigor inicial, buen macollamiento, tallos cortos y fuertes, y hojas erectas). Las fuentes estadounidenses de precocidad extrema son de macollamiento bajo y moderadamente altas. Los nudos del cuello de la panícula y las espiguillas se diferencian 30 y 20 días antes de la floración, respectivamente. De la floración a la cosecha hay 30 días más, así que una variedad de 100 días tiene solamente de 40 a 50 días de crecimiento vegetativo antes de la iniciación de la panícula. Por lo tanto, el problema es desarrollar en tan corto tiempo suficiente área foliar para producir altos rendimientos. Además, la regulación del tiempo de aplicación del fertilizante y el control del agua y las malezas pasa a ser de importancia crítica para poder obtener altos rendimientos en variedades muy precoces.

Por consiguiente, un rendimiento alto en variedades tropicales muy precoces sólo puede esperarse en tipos de planta excepcionalmente

vigorosas en términos de desarrollo inicial de área foliar por unidad de tiempo. El macollamiento abundante parece ser una característica ideal para lograr mayor plasticidad y rápido cubrimiento de los espacios entre plantas, especialmente para cultivos transplantados. Hasta cierto punto, el incremento de la densidad de siembra en arrozcs sembrados directamente suplementa el vigor inicial y aumenta el área foliar y el rendimiento en variedades muy precoces.

Actualmente no se encuentra disponible ninguna variedad altamente productiva de maduración muy precoz para los trópicos húmedos. Las variedades precoces de los Estados Unidos, como Belle Patna y Blue Belle, maduran en poco más o menos 100 a 105 días en los trópicos americanos, pero raramente producen tanto como las enanas mejoradas. Sin embargo, en regiones frescas de mayor altitud, su maduración es más lenta y rinden considerablemente mejor. En comparación, las variedades enanas mejoradas, las cuales maduran de 15 a 20 días más tarde, a menudo rinden el doble de los tipos estadounidenses en los trópicos. Aún descontando su mayor susceptibilidad a plagas, el bajo macollamiento y la falta de vigor de las variedades estadounidenses en los trópicos cálidos, combinados con el desarrollo foliar limitado antes de la iniciación de la panícula, dan como resultado menores rendimientos. La combinación de su precocidad con el macollamiento, vigor, y habilidad de rendimientos de las variedades enanas tropicales mejoradas sigue siendo un desafío fascinante. El IRRI ha desarrollado líneas relativamente productivas (5 ton/ha en la estación húmeda y de 6 a 7 ton/ha en la seca) que maduran en 100 a 105 días.

La insensibilidad al fotoperíodo es una razón importante por la cual muchas de las variedades enanas modernas son tan ampliamente adaptables. Esta característica ha sido muy bien acogida en muchas áreas tropicales, por cuanto permite cultivar cualquier variedad en un amplio rango de latitudes y producir dos o tres cultivos, y da mayor flexibilidad a las fechas de siembra.

Todas las variedades importantes en el trópico de América Latina son insensibles o poco sensibles. En Asia, se requiere la sensibilidad al fotoperíodo en las grandes áreas de aguas relativamente profundas tales como Bangladesh, Birmania, Vietnam y Tailandia. En estas áreas, las variedades deben madurar después de que el agua baje y antes de que escasee en la estación seca. En las áreas donde el arroz sólo puede secarse al sol, se prefieren las variedades con sensibilidad al fotoperíodo para asegurarse de que el cultivo sea cosechado después de la estación lluviosa.

Para la mayoría de las áreas sujetas a inundaciones profundas se requieren variedades de arroz sumamente sensibles, en tanto que las menos

sensibles son apropiadas para áreas donde la inundación es de baja a moderada. Las variedades sumamente sensibles no florecerán cuando los días son largos. Los arroces poco sensibles florecen independientemente de la duración del día, pero los días largos prolongan su período de maduración. Los días largos no demoran la floración en variedades completamente insensibles, como CICA 4, pero tales variedades son más bien escasas.

En el IRRI y en otros programas del Asia se han desarrollado líneas enanas mejoradas sumamente sensibles, poco sensibles e insensibles al fotoperíodo, que se encuentran disponibles para todos los fitomejoradores como material parental. Si se requiere una variedad fuertemente sensible para cruzamientos, pero ella no florece bajo fotoperíodos locales, el fitomejorador puede forzar la floración exponiendo las plantas a varias noches largas consecutivas de unas 14 horas cada una en una cámara oscura.

Se cree que la sensibilidad al fotoperíodo está controlada por uno u, ocasionalmente, dos genes dominantes, aunque la respuesta poco sensible puede ser multigénica. La respuesta al fotoperíodo se recombina fácilmente por medio de la hibridación con todas las características importantes de la planta y del grano, incluyendo la latencia del grano. En materiales no mejorados que se han desarrollado a través de selección natural, la sensibilidad al fotoperíodo se asocia con caracteres que ofrecen otras ventajas en sistemas tradicionales de cultivo, como son la altura, longitud de las hojas, y latencia del grano.

La evaluación de líneas pedigrí por su reacción al fotoperíodo es simple en los programas donde se efectúan dos cosechas al año, a 5° o más de latitud norte o sur del Ecuador. Las plantas se evalúan con base en las diferencias de floración en siembras consecutivas. Por ejemplo, en el IRRI, las líneas homocigotas sensibles al fotoperíodo florecen de 40 a 70 días más temprano cuando se siembran en diciembre que en mayo. Sin embargo, el período de maduración de las líneas uniformemente insensibles es más largo cuando se siembran en diciembre porque las temperaturas son más bajas hasta marzo. En cualesquiera de las dos fechas de siembra, las líneas segregantes muestran una segregación de dos clases para la fecha de floración.

Las plantas segregantes individuales en la población F<sub>2</sub> son a menudo más difíciles de clasificar. En localidades al norte del Ecuador, las plantas insensibles o poco sensibles generalmente florecen más temprano cuando se las siembra en mayo y más tarde cuando la siembra tiene lugar en diciembre. Esta tendencia se invierte en áreas a más de 5° de latitud sur.

La selección para insensibilidad al fotoperíodo en o cerca del ecuador es más fácil, ya que pocas líneas o plantas sumamente sensibles florecerán bajo las duraciones del día prevaletentes en cualquier época del año. La maduración del material poco insensible puede o no prolongarse en tales condiciones. Las líneas avanzadas pueden separarse claramente en materiales insensibles y poco sensibles sembrando a mayores latitudes.

## **Pigmentación**

Ningún carácter ha recibido tanta atención, con tan poca justificación, como los patrones de pigmentación de las diferentes partes de la planta. Muchas variedades no tienen una pigmentación antocianínica obvia, y entre las que la tienen, ésta varía en intensidad y en localización. La pigmentación en cualesquiera de sus posibles combinaciones no parece estar relacionada con el desarrollo del cultivo, la resistencia a plagas, el rendimiento del grano, o cualquier otro carácter importante del crecimiento o de la calidad. La mayoría de los investigadores descartan las líneas fuertemente pigmentadas a pesar de que esta característica no es claramente desventajosa. Una pequeña excepción son los granos precocidos porque un apículo o cáscara pigmentados puede manchar el endosperma. Los patrones de pigmentación y su herencia constituyen un pasatiempo para algunos genetistas, quienes deberían concentrarse en caracteres más importantes. La localización de la pigmentación puede ser útil para la identificación varietal, pero no hay que olvidar que el color es más débil si la planta recibe mucha sombra.

El color básico del arroz es pajizo o dorado. La cáscara dorada, recesiva a la cáscara pajiza, es muy común en las variedades comerciales. Los fitomejoradores con frecuencia rechazan arbitrariamente las cáscaras doradas, presumiblemente porque el endosperma del grano puede mancharse cuando es precocido. El color de la cáscara no afecta el rendimiento del grano ni característica alguna importante, y merece poca atención. Debido a su herencia simple es útil para verificar la autofertilización de plantas  $F_1$  en cruzamientos donde la variedad de cáscara dorada es el progenitor femenino.

## **Aristas**

Casi todos los fitomejoradores seleccionan granos sin aristas porque éstas son duras, persistentes, e inconvenientes para el desgrane y la

molinería. Las líneas con panículas parcialmente aristadas, es decir, que tienen unas cuantas aristas pequeñas en el ápice del grano, no presentan problema y no deberían descartarse por ese solo carácter. La arista no contribuye significativamente al llenado del grano, no lo protege de los pájaros, y aparentemente no tiene una función útil.

Dos o tres genes dominantes controlan la presencia de las aristas. Los cruzamientos de variedades parcialmente aristadas x no aristadas difieren en un gen. Factores ambientales desconocidos influyen con frecuencia en la presencia y cantidad de aristas en el ápice. Las aristas a menudo aparecen en cultivos de soca que en la primera cosecha no presentaron ninguna arista.

La mayoría de las variedades no tienen aristas o tienen unas pocas en el ápice, de modo que este carácter rara vez constituye un problema en el mejoramiento. Desechar los individuos completamente aristados en las poblaciones  $F_2$  y  $F_3$  elimina la mayor parte de la dificultad en los cruces ocasionales que comprendan un progenitor completamente aristado. No hay evidencia de que el aristamiento completo o parcial esté ligado a algún otro carácter del grano económicamente importante.

## **Desgrane**

El desgrane o caída del grano, el cual depende del grado de adherencia de la espiguilla a su pedicelo, es de gran importancia económica y uno de los principales objetivos del mejoramiento genético. La manera como la espiguilla se adhiere se clasifica como fuerte, intermedia o floja. El grado de desgrane permisible en un área en particular depende en gran parte del medio ambiente y del sistema prevaleciente de cosecha y desgrane.

Las variedades que se cultivan en áreas donde los vientos son fuertes deben resistir la sacudida al madurar el grano. La resistencia al desgrane es especialmente importante en variedades de tallos rígidos, resistentes al acame, cuyos tallos erectos, a diferencia de los de las plantas sensibles al volcamiento, no están protegidos de severas sacudidas. Las variedades que se cosechan, se sacuden, y se almacenan temporalmente en el campo antes de ser desgranadas, una práctica común en Japón, requieren una gran resistencia al desgrane.

Los tipos con resistencia intermedia al desgrane pueden trillarse más completamente con menos pérdida de grano cuando se cosechan mecánicamente. Los agricultores que usan una combinada para cosechar y

cultivan variedades fáciles de trillar a menudo empiezan a cosechar mientras el grano tiene un alto contenido de humedad para evitar la pérdida excesiva de éste. Sin embargo, esto se refleja en un alto porcentaje de granos incompletamente maduros con endosperma yesoso, lo cual reduce considerablemente la calidad de molinería y aumenta los costos de secamiento.

En muchas regiones del mundo donde el arroz se cosecha manualmente y se desgrana de inmediato golpeando las panículas contra tambores de aceite, troncos, u otros objetos sólidos, se prefieren tipos con resistencia intermedia al desgrane para reducir el tiempo de esta labor.

Las variedades japónicas son altamente resistentes al desgrane, lo mismo que algunas índicas, y el arroz rojo es más susceptible. La mayoría de las variedades índicas ocupan una posición intermedia entre estos extremos.

Se cree que el desgrane está controlado por un solo gen, usualmente considerado como dominante, aunque se ha registrado la condición inversa algunas veces. Cualquiera que sea su modo de herencia, el estado de madurez del grano y el medio ambiente influyen marcadamente en el grado de desgrane, aunque el último factor no se conoce muy bien. Los diversos grados de desgrane son genéticamente independientes de todas las otras características importantes y pueden combinarse con cualquiera de ellas.

Más inquietante para los fitomejoradores es la imposibilidad de evaluar y seleccionar material segregante para el grado deseado de desgrane en una etapa uniforme de maduración del grano. El fitomejorador a menudo selecciona plantas con grano ligeramente inmaduro porque es reacio a regresar más tarde para evaluar solamente las pocas líneas restantes de maduración tardía. De igual manera, la segregación para el período de maduración dentro de las líneas hace imposible evaluar el desgrane y seleccionar plantas de maduración fisiológica uniforme. Aunque el grano inmaduro es usualmente resistente al desgrane, esto pudiera no estar relacionado con su comportamiento al madurar completamente. Los granos se maduran más de la cuenta en las líneas de pedigrí cuando los fitomejoradores se retrasan en su trabajo de campo. Dichos surcos tienden a desgranarse fácilmente, pero de nuevo esto no refleja necesariamente su comportamiento cuando han alcanzado el grado ideal de madurez.

Además, los fitomejoradores no disponen de métodos eficientes para evaluar la habilidad de desgrane. La mejor técnica, aunque lejos de ser la ideal, es sostener las panículas de una planta flojamente en la mano, apretarlas levemente con los dedos, y calcular el número de granos apretados. Con la práctica, el investigador aprende a aplicar más o

menos la misma presión para cada evaluación. A pesar de sus desventajas, este método es rápido y razonablemente exacto, y no requiere herramientas especiales.

El método de apretar las panículas no es satisfactorio para la evaluación de plantas individuales, y tratar de clasificar plantas individuales en la  $F_2$  es generalmente inútil. La prueba debería repetirse con tres o más plantas por surco para lograr un cálculo bastante aproximado del grado de desgrane en una línea. En consecuencia, las líneas se evalúan normalmente con base en familias, empezando con la  $F_3$  y continuando a través de todas las generaciones subsiguientes. Para seleccionar plantas en viveros pedigrí grandes se trabaja en equipo; por lo tanto, la cantidad de presión aplicada a cada línea al igual que el desgrane, varían. No obstante, si las líneas que se desgran excesivamente, o que mantienen sus granos adheridos fuertemente, no se detectan en una generación, serán identificadas en la siguiente.

Un solo investigador debería evaluar la facilidad de desgrane en parcelas de observación y ensayos de rendimiento, y las líneas deberían tener un nivel similar de maduración para que la evaluación sea más uniforme.

## **Latencia del grano**

La latencia del grano se refiere a la baja habilidad de germinación del grano viable, recientemente cosechado. Como el desgrane y la abundancia de aristas, la latencia es una característica primitiva que favorece la supervivencia en la naturaleza. La latencia es también deseable para la mayoría de los ambientes agronómicos porque evita que el grano germine en las panículas antes de la cosecha. La germinación es un problema crónico si las lluvias son frecuentes durante la maduración del grano o si el cultivo se vuelca en agua. Por consiguiente, la latencia es un objetivo importante del mejoramiento.

Las variedades japónicas como grupo tienen poca o ninguna latencia. La mayoría de las índicas tienen alguna latencia y muchas, especialmente aquellas del Asia tropical, tienen una latencia fuerte. El porcentaje de germinación del grano a la cosecha, la duración de la latencia y la dificultad para romperla varían ampliamente según la variedad.

Bajo condiciones normales de desarrollo del grano, la latencia es controlada, en gran parte, por la lema y la palea, y en menor grado por el pericarpio y el embrión. Su forma de herencia es multigénica. La latencia es

fuerte a parcialmente dominante sobre la falta de latencia. Se conoce poco acerca de la asociación genética, si acaso la hay, entre la fortaleza y duración de la latencia. El medio ambiente afecta fuertemente esta característica; por ejemplo, los granos que maduran durante tiempo soleado y seco, tienen menos latencia que los que maduran durante tiempo húmedo. Por consiguiente, la misma variedad puede ser clasificada como de latencia débil o fuerte, según el medio ambiente.

La latencia se hereda independientemente y se combina rápidamente con maduración precoz, insensibilidad al fotoperíodo, un rango amplio de tipos de grano y calidades de cocción, caracteres importantes de la panícula y todos los caracteres deseables de tallo y hojas.

La mayoría de los cruces en los programas tropicales incluye progenitores con latencia; de hecho, todo material segregante tiene latencia, pero todo lo que hay que hacer es romperla. No es necesario evaluar su progenie hasta los ensayos preliminares de rendimiento. No obstante, los cruces que incluyen un progenitor sin latencia o con latencia débil son un problema especial si se producen dos o más generaciones por año. En los programas donde la semilla se cosecha, se prepara y se siembra en 50 días, debe romperse la latencia para asegurarse de que la semilla en este estado también germine. Si no se rompe la latencia, los segregantes deseables con latencia serían rápidamente eliminados porque solamente germina la semilla sin latencia o con latencia débil. La semilla puede mantenerse hasta que la latencia desaparezca naturalmente, pero esto no es práctico en programas que desean avanzar rápidamente el material.

Un ejemplo claro de las consecuencias de no romper la latencia ocurrió en Colombia cuando, accidentalmente, una caja con varios cientos de selecciones recientemente cosechadas no se trató para romper latencia. Otras selecciones, las cuales habían sido tratadas antes de sembrarlas, germinaron normalmente, pero ni tan solo una parte del material no tratado germinó. Las poblaciones fueron normales en los surcos testigo, preparados con semilla vieja.

La manera más simple de romper la latencia del material recientemente cosechado cuando se trata de unos cuantos granos es quitar las cáscaras y aplicar un fungicida a la semilla antes de la siembra. Sin embargo, esto no es práctico para los viveros de mejoramiento. Igualmente, algunos productos químicos líquidos rompen eficazmente la latencia, pero no pueden usarse para un gran número de selecciones.

Un tratamiento térmico práctico y eficiente puede romper la latencia de un gran número de selecciones mejoradas. Mantenga los sobres con la

semilla recientemente cosechada en un horno de aire seco entre 50 y 55°C, por cinco a siete días. La semilla no pierde su viabilidad si el material se expone inadvertidamente a períodos más largos o si la temperatura aumenta hasta 65°C. Se puede tratar un máximo de dos kg de semilla en bolsas de papel dejándolas abiertas para acelerar la pérdida de humedad. El grano tratado puede sembrarse inmediatamente después de retirarlo del horno.

La latencia es algunas veces excepcionalmente fuerte en semillas que fueron sometidas al método de corte de emasculación. Las semillas de híbridos sometidos al método de corte que se cruzaron con ICA 10, por ejemplo, tienen una latencia tan intensa que la técnica normal no la rompe satisfactoriamente. En esos casos excepcionales, deje la semilla en el horno durante diez días y guárdela por un mes más o menos antes de sembrarla.

La latencia es relativamente sencilla de determinar en selección de plantas individuales o en líneas puras, pero requiere mucha mano de obra y tiempo. Coloque 100 granos tratados con un fungicida de cada selección o línea recientemente cosechada en un papel filtro húmedo en platos petri limpios y añada el agua destilada que se necesite. Si no dispone de horno de germinación, coloque los platos petri en una mesa de laboratorio. El porcentaje de semillas no germinadas después de siete a diez días es la latencia inicial. Determine la duración del período de latencia repitiendo la prueba semanalmente hasta que se alcance el 80% de germinación.

La evaluación de la fortaleza de la latencia requiere tanto trabajo, tiempo y espacio, que sólo debería realizarse en casos absolutamente necesarios. Los cruzamientos entre dos progenitores con latencia segregan en tan pocos individuos con latencia débil que la evaluación no es necesaria hasta que se seleccionan las líneas puras. Pero los cruces entre progenitores con latencia y sin latencia segregan en diversas clases de latencia. Cuando sea posible, use semillas F<sub>3</sub> de plantas F<sub>2</sub> para evaluar las selecciones; puede no ser práctico evaluar nuevamente hasta los ensayos preliminares de rendimiento. Si no hay facilidades disponibles para evaluar la latencia en materiales segregantes, seleccione y evalúe un gran número de líneas puras para asegurarse de que por lo menos algunas selecciones con latencia sean avanzadas a parcelas de observación.

La duración del período de latencia debería determinarse solamente cuando se vayan a preparar recomendaciones para los agricultores sobre nuevas variedades, nunca para material segregante. Es importante probar lotes de semilla de distintas áreas de producción.

## CAPITULO 6

# Calidad del grano

### **Apariencia del endosperma**

La apariencia del arroz molinado es importante para el consumidor y, por consiguiente, para el productor y el molinero. En América Latina los molineros de arroz ejercen una enorme influencia en la aceptación varietal, por cuanto ellos definen la calidad del grano y fijan los precios de compra con base en la apariencia del arroz molinado. Las variedades que tienen un comportamiento superior en el campo son aceptadas con dificultad por la industria molinera si el grano tiene una apariencia inferior una vez molinado. De aquí que esta característica sea de suma importancia en el mejoramiento.

El consumidor prefiere arroces con un endosperma claro y paga un precio superior por él, aún cuando la opacidad desaparece durante la cocción y no altera la calidad nutricional. El grano con áreas opacas en el endosperma, causadas por la poca compactación de las partículas de almidón y proteína, se quiebra más fácilmente durante la molinería, perdiendo valor comercial.

Las áreas opacas se conocen como panza blanca, centro blanco, o dorso blanco, según su localización en el endosperma. Para evaluar el material de mejoramiento es más conveniente agrupar las manchas bajo el término panza blanca que utilizar tres clasificaciones diferentes. La opacidad no debe confundirse con la apariencia superficialmente similar del arroz glutinoso o ceráceo, o con aquella de granos inmaduros, yesosos, cosechados con un alto contenido de humedad.

Unas pocas variedades tienen el endosperma casi totalmente opaco; otras son claras o tienen solamente pequeños vestigios de panza blanca. Los granos molinados de estas variedades también tienen a menudo una

translucidez o brillo atractivo, que es simplemente una característica de preferencia visual y no afecta la calidad nutricional o de cocción. En todos los mercados de arroz, el tipo ideal de endosperma no es opaco sino completamente translúcido.

La presencia y grado de panza blanca están parcialmente bajo control genético aunque ciertos factores ambientales afectan marcadamente su expresión. Los granos individuales de una misma panícula pueden diferir en opacidad. Algunas variedades, como la IR22, no presentan panza blanca en ningún ambiente, mientras que otras, como la CICA 4, tienen endosperma claro en algunos ambientes y considerablemente opaco en otros. La variedad IR8 y otras son severamente afectadas con panza blanca en casi todos los ambientes.

El principal factor ambiental que influye en la opacidad parece ser la temperatura inmediatamente después de la floración; la temperatura alta aumenta la panza blanca, en tanto que la baja la disminuye o elimina. Esto presenta problemas especiales para los programas con centro de operaciones en áreas frías que sirven fincas en áreas cálidas. En estos casos, los materiales con endosperma claro seleccionados en las áreas frescas se deben examinar rigurosamente en ambientes más calientes. Se sospecha también que la fertilidad del suelo y el manejo del agua afectan el grado de panza blanca de manera aún desconocida.

Aunque se tienen informes de que la panza blanca es controlada por un gen recesivo, los fitomejoradores experimentados han debatido tal herencia simple en la mayoría de los materiales. No obstante, se ha encontrado un buen porcentaje de granos claros en progenies de retrocruzamientos a padres con algo de panza blanca, lo que indica que la herencia del endosperma claro no es demasiado compleja.

Como con otras características del grano que se fijan pronto en las generaciones tempranas segregantes, es importante evaluar y empezar una estricta selección con el grano  $F_3$  de plantas  $F_2$  en cruces simples, o con el grano de plantas  $F_1$  de retrocruzamientos individuales o cruces triples. En vista de que esta característica es difícil de manejar y su heredabilidad es baja, el fitomejorador debe rechazar todas las selecciones dudosas. No se requieren pruebas separadas para la evaluación porque se puede clasificar la apariencia del endosperma del grano molido por su calidad de cocción al mismo tiempo que se mide su longitud. Si no se dispone de una pequeña muestra molinada y no se van a realizar pruebas de calidad de cocción, puede usarse arroz integral para clasificar la apariencia del endosperma con óptima exactitud. Registre el puntaje promedio de 5 a 10 granos/planta o panícula seleccionada, usando una escala de 1 a 9, donde 1 representa un endosperma completamente claro.

El grano translúcido con algo o nada de panza blanca puede combinarse con cualquier tipo de grano deseado, contenido de amilosa (excepto ceráceo), o temperatura de gelatinización. La translucidez se hereda independientemente de todas las características agronómicas importantes.

## Longitud, forma y calidad de molinería del grano

Las normas para evaluar la longitud y la forma del grano del material de mejoramiento varían entre países y áreas de mercadeo. El Cuadro 1 muestra una clasificación razonablemente útil para las evaluaciones rutinarias de mejoramiento.

**Cuadro 1.** Clasificación de la longitud y forma del grano del arroz molinado.

Designación	Longitud (mm)	Escala	Forma	Longitud:ancho	Escala
Extra largo	7.50 +	1	Delgado	3.0 +	1
Largo	6.61 - 7.50	3	Medio	2.1 - 3.0	3
Medio	5.51 - 6.60	5	Ovalado	1.1 - 2.0	5
Corto	- de 5.50	7	Redondo	- de 1.1	9
Extra corto		9			

Las preferencias por la longitud de grano varían enormemente de una región a otra. Quienes prefieren arroz japónica casi siempre gustan del grano corto, aunque los europeos prefieren algunas japónicas con grano medio a medio-largo. En Asia tropical la mayoría del arroz es medio a largo con algunos tipos extralargos, preferidos en Tailandia y otros países. En las Américas generalmente se prefiere el grano largo o extra largo (tipo Surinam), excepto donde las bajas temperaturas requieren que se siembren variedades derivadas de las japónicas.

El ancho y grosor, o la forma, son menos variables y menos importantes que la longitud, aunque los mercados de mejor calidad usualmente exigen un grano de forma delgada a media (Cuadro 1). El grano ovalado es a menudo rechazado debido a que se parte durante la molinería. Una excepción son los arroces de secano del Brasil, los cuales son de grano largo y ovalado, de buen peso específico, y buena calidad de molinería. Usualmente, pero no siempre, los granos de longitud corta a media se parten menos que los largos durante la molinería. Por lo tanto, el tamaño y forma del grano están estrechamente relacionados con los rendimientos del índice de pilada o grano entero.

No obstante, el total de arroz molinado (arroz entero y partido) del grano intermedio u ovalado es usualmente más alto que el de tipos delgados. Por ejemplo, el grano de la variedad IR8 es considerado excesivamente ovalado, lo que contribuye a que los rendimientos de arroz entero sean bajos, pero los de arroz total altos. Los fitomejoradores deberían hacer más énfasis en el mejoramiento del arroz entero que en el rendimiento del arroz total, por cuanto comercialmente es más importante el arroz entero, varía más y es más fácil de mejorar.

La longitud y la forma de grano se heredan independientemente y pueden combinarse a voluntad, con la posible excepción de los caracteres extra largo y ovalado. Aún más, no hay barreras para recombinar cualquier longitud y forma del grano con otras características de calidad, tal como apariencia del endosperma o contenido de amilosa o con el tipo de planta, latencia, o período de maduración. Sin embargo, las preferencias del consumidor y la prolongada selección humana han dado como resultado asociaciones no genéticas de tipos de grano con el comportamiento de cocción. De aquí que el arroz de grano largo usualmente queda seco y suelto al cocinarse, y el de grano corto, húmedo y pegajoso. La opinión prevaleciente por un tiempo según la cual las variedades de grano corto poseen una mayor habilidad de rendimiento que las de grano largo no es válida. Esta creencia, como tantas otras, surgió debido a que las variedades japónicas de grano corto recibieron por muchos años mayor atención en cuanto a mejoramiento genético en el Japón y otros países, y porque con frecuencia se las cultiva en áreas templadas que tienen ambientes más favorables.

Algunos investigadores en áreas templadas han indicado que es difícil o imposible recombinar el enanismo y buen macollamiento con granos largos de forma delgada o media. Afortunadamente, esto no es cierto. Los científicos en programas tropicales de mejoramiento de arroz han desarrollado muchas selecciones con características típicas de plantas enanas y excelente grano, adecuado para el comercio internacional, mediante el intercruzamiento de líneas promisorias durante varios ciclos y la selección estricta para el tipo de grano y endosperma claro.

No obstante, el tamaño y la forma del grano son caracteres relativamente difíciles de manejar. Lo que el fitomejorador debe tener en cuenta es qué tipos de grano desean en el mercado para el que trabaja y rechazar o descartar todos los segregantes que no reúnan esos requisitos. Es inútil gastar años desarrollando líneas de alto rendimiento, resistentes a enfermedades, para encontrar que los agricultores, molineros, o consumidores las rechazan porque las características externas del grano son inadecuadas.

Tipos de plantas enanas mejoradas con todas las combinaciones esenciales posibles de forma y longitud de grano están cada vez más al alcance del fitomejorador para usarlas como padres en cruzamientos. Así que no es necesario emplear por más tiempo plantas no mejoradas como donantes de buen grano. Sin embargo, una combinación aún no desarrollada para uso parental es el grano largo y delgado en una variedad enana con suficiente tolerancia al frío para las áreas templadas. Pero varias selecciones nuevas y promisorias del IRRI se están evaluando en el Vivero Internacional de Arroz de Tolerancia al Frío de 1978 (IRCTN).

La forma y longitud del grano se heredan cuantitativamente. El tamaño de la  $F_1$  es intermedio entre los de sus progenitores; las segregaciones transgresivas para grano más largo o más corto son comunes en la  $F_2$ . El tamaño del grano es altamente heredable en la mayoría de los ambientes, aunque la temperatura baja después de la floración puede reducir ligeramente la longitud del grano. A pesar de la aparente complejidad de su herencia, la longitud y forma del grano se fijan excepcionalmente temprano en las generaciones segregantes. Si la expresión deseada no se encuentra en la  $F_2$ , la probabilidad de encontrar mejores tipos en la  $F_3$  es casi nula. Contrariamente, cuando se seleccionan granos excelentes en la  $F_2$ , ésta rara vez segrega mucho en las generaciones subsiguientes. Esto indica la importancia extrema de ejercer una presión fuerte de selección en la  $F_2$  de cruces simples y en las poblaciones  $F_1$  de retrocruzamientos, cruces triples o dobles. Si no se encuentran buenos tipos en ninguna generación o población, es aconsejable desechar el material y buscar otro.

La longitud y la forma no son fáciles de evaluar en el campo, aunque con la práctica, los tipos que son obviamente buenos o malos pueden distinguirse sin mucha dificultad. Para ahorrar tiempo en el campo, lleve todas las selecciones que parezcan tener grano satisfactorio al laboratorio de semillas para secarlas. Luego inspeccione cuidadosamente el grano de todas las plantas, ya sea antes o después de desgranarlas, y descarte los tipos dudosos.

Una característica del grano relativamente de poca importancia que se debe tener en cuenta, tanto en el campo como en el laboratorio, es que la lema y la palea cubran completamente el grano. Los granos de algunas plantas muestran una abertura entre las glumas. Esto es indeseable porque los patógenos pueden entrar y dañar el grano en condiciones de humedad en el campo o en la bodega.

Las evaluaciones visuales preliminares de la apariencia del grano en el campo y en el laboratorio se basan en arroz con cáscara y se suplementan con medidas más exactas de arroz molido. Como a todas las selecciones

de campo hay que someterlas también a otras pruebas de calidad que requieren descascarar y moler el grano. una práctica rutinaria es medir la longitud de cinco a diez granos molinados representativos y registrar esta información en el libro de campo. Algunos científicos solamente miden los granos más grandes en la punta de la panícula para reducir la variabilidad debido a que los granos más bajos son usualmente más cortos. No registre la forma del grano de las selecciones provenientes de poblaciones pedigrí, debido a la dificultad y al tiempo que se requiere para medir el ancho y calcular la proporción longitud:ancho. La mayoría de las formas indeseables en el material segregante se eliminan después de la inspección visual de las panículas en el campo y laboratorio y durante la medición de la longitud del grano molinado. La medición directa, tediosa, de la forma del grano puede reservarse para líneas puras, avanzadas, o simplemente omitirse sin que haya gran pérdida.

La evaluación cuidadosa de la calidad de molinería, particularmente del porcentaje de arroz entero, es crítica en todos los programas de mejoramiento de arroz, incluso en las áreas donde hay que precocer toda o parte de la cosecha para reducir la cantidad de grano quebrado. Desafortunadamente, no existe una técnica simple y exacta para medir directamente la calidad de molinería de las selecciones individuales en las generaciones segregantes. La mayoría de los fitomejoradores intentan estimar el comportamiento de molienda de las selecciones genealógicas con base en la longitud y forma del grano y en la apariencia del endosperma. Las características que contribuyen a aumentar el rompimiento de granos, individualmente y en combinación con otras características, son, entre otras, el grano largo o extra largo, la forma excesivamente delgada u ovalada, el grano parcialmente aplanado, y una cantidad apreciable de panza blanca.

Las mediciones directas de la calidad de molinería usualmente comienzan con el grano masal de líneas superiores  $F_5$  o  $F_6$ , seleccionadas tentativamente para incluirlas en ensayos preliminares de rendimiento. La evaluación debe incluir variedades testigo, bien conocidas, que se someten a todas las pruebas de rendimiento y multiplicación. Un procedimiento usado comúnmente es secar muestras de 1 kg de grano hasta que lleguen a menos de 14% de humedad. Las muestras se descasaran y se muelen con el equipo de laboratorio, siguiendo cuidadosamente las recomendaciones del fabricante para el tiempo y el peso aplicado al molino. Verifique dos veces las líneas con rendimientos de arroz entero excesivamente bajos y descarte todas las que confirme como no satisfactorias. La correlación entre los resultados obtenidos con 1 kg de arroz molinado en el laboratorio y con muestras en grandes molinos comerciales es generalmente satisfactoria. Los resultados en molinos de laboratorio de menor capacidad, que requieren muestras de grano más pequeñas, son menos exactos.

Después de la molinería, separe los granos enteros y partidos por medio de una zaranda para efectuar dos evaluaciones importantes. La primera es el porcentaje de arroz entero, con base en el kilogramo inicial de arroz en cáscara. La otra es el porcentaje de arroz total, o la cantidad total de arroz entero y todas las clases de granos partidos. La determinación del rendimiento del arroz entero es más crítica, ya que varía considerablemente más que el rendimiento de arroz total.

Es imperativo hacer por lo menos una evaluación de la calidad de molinería, preferiblemente más de una, en un molino comercial antes de lanzar una nueva variedad. Como la evaluación requiere de dos a cuatro ton de arroz, ésta se hace con el grano producido en la primera etapa de multiplicación de semilla en gran escala. Cuando sea posible, esta prueba se deberá repetir después de tres a cuatro meses de almacenamiento del grano, porque éste aumenta al máximo la dureza del grano y el rendimiento de arroz entero.

## Contenido de Amilosa

La amilosa es la fracción lineal del almidón en las variedades no glutinosas; la amilopectina, o fracción ramificada, constituye el resto del almidón. El contenido de amilosa influye marcadamente en las características de cocción del arroz molinado y se correlaciona negativamente con los puntajes de palatabilidad para cohesión, blandura, color, y brillo del arroz cocido. Las variedades de arroz se agrupan con base en su contenido de amilosa en glutinosas (1-2% de amilosa), bajas (8-20% de amilosa), intermedias (21-25% de amilosa) y altas (más de 25% de amilosa).

El arroz glutinoso es la base alimenticia en algunas regiones asiáticas. También se usa para preparar pasteles, postres, dulces, crispetas y pastas precocidas. Durante la cocción se expande poco y absorbe poca agua. Después de la preparación, el arroz glutinoso es húmedo, pegajoso y de apariencia brillante. Un solo gen recesivo controla la característica glutinosa, pero genes modificadores afectan aparentemente las características de procesamiento.

Las variedades no glutinosas, las cuales constituyen la mayor parte del arroz en el mundo, tienen de 8-37% de amilosa, aunque la mayoría fluctúa de 13 a 32%. Las variedades con un contenido bajo de amilosa son húmedas, pegajosas y de apariencia brillante después de cocidas, y fácilmente se separan y desintegran cuando se cocinan demasiado. Los

arroz con alto contenido de amilosa, como el IR8, quedan secos y sueltos después de la cocción pero se endurecen al enfriarse. Los tipos intermedios, como Pelita 1 de Indonesia, Ca-63 de las Filipinas, CICA 4 de Colombia y Basmati 370 de Paquistán tienen las características de los tipos altos en amilosa pero retienen una textura suave cuando se enfrían.

Las variedades japónicas son de bajo contenido de amilosa y quedan pegajosas después de cocidas. El contenido de amilosa de las variedades índicas varía ampliamente de acuerdo con las preferencias regionales de calidad. El nivel intermedio de amilosa es preferido en las áreas más consumidoras de Indonesia y las Filipinas, probablemente debido a que el arroz mantiene su suavidad al enfriarse. Los arroz con alto contenido de amilosa se cultivan ampliamente en Asia, pero los de contenido intermedio probablemente tendrían la misma aceptación. Los consumidores de América Latina y los principales mercados mundiales prefieren los tipos intermedios.

Aunque la herencia del contenido de amilosa no está bien establecida, los tipos altos y bajos en amilosa difieren en que el control lo ejerce un solo gen. El heterocigoto tiene un nivel intermedio de amilosa pero éste no se puede estabilizar. Si se desea un contenido intermedio de amilosa, uno o ambos padres deben ser de este tipo.

El medio ambiente modifica parcialmente el contenido de amilosa de muchas maneras desconocidas. Las temperaturas altas durante la maduración del grano disminuyen el nivel de amilosa. El contenido de una variedad puede variar tanto como 6% de una estación a otra.

### **Determinación del contenido de amilosa**

Aunque lograr un contenido específico de amilosa por medio del mejoramiento genético no es difícil, la determinación directa de amilosa es bastante compleja porque el procedimiento es costoso, lento y delicado, y requiere una buena preparación en cuanto al análisis químico. Muchos programas carecen de los recursos para determinar el contenido de amilosa. Como una solución parcial, tales programas pueden sustituir la prueba álcali simple por la temperatura de gelatinización, que suministrará una evaluación parcial y preliminar del contenido de amilosa con base en la asociación de las dos características. Para las áreas en donde no se aceptan arroz con bajo contenido de amilosa (pegajosos al cocinarse), los tipos con temperatura alta de gelatinización, los cuales están siempre asociados con niveles bajos de amilosa, se pueden descartar. Igualmente, los arroz con temperatura intermedia de gelatinización rara vez tienen un contenido bajo de amilosa y, por lo tanto, pueden retenerse.

Desafortunadamente, la temperatura de gelatinización no puede emplearse para predecir otras posibles combinaciones con el contenido de amilosa. La temperatura de gelatinización baja puede asociarse con contenidos bajos, intermedios y altos de amilosa. Los arroces con temperatura intermedia de gelatinización pueden tener un nivel intermedio o alto de amilosa. Estos casos usualmente representan la mayor parte del material de mejoramiento y hasta el presente únicamente pueden determinarse mediante el análisis directo del contenido de amilosa.

La amilosa se puede determinar por medio de la prueba con yodo que produce una coloración azul del almidón. Esta prueba se considera útil para identificar las variedades bajas en amilosa con alta temperatura de gelatinización (77°C), porque la extracción de amilosa es mínima para tales variedades. No obstante, parece más simple identificar tales tipos determinando la temperatura de gelatinización por medio de un álcali. A 100°C, la amilosa extraída se correlaciona con el contenido de amilosa del grano, independientemente de la temperatura de gelatinización. Sin embargo, una limitación es que los arroces altos en amilosa dan valores bajos que son similares a los de los tipos con un contenido intermedio. Por lo tanto, la prueba con yodo para el almidón es útil únicamente cuando el valor de la amilosa no excede del 27%.

El contenido de amilosa se determina con mucha frecuencia colorimétricamente con yodo, después de desgrasar con metanol, gelatinizar el almidón por dos días a 4°C, analizar volumétricamente la solución para obtener un pH de 9.8 a 10.0, y alcanzar una lectura para el color de 590 nm.

En el IRR1 se desarrolló recientemente un método más sencillo, rápido y exacto utilizando un pH de 4.5 a 4.7 y una longitud de onda de 620 nm. Esta prueba puede efectuarse manualmente, y en un laboratorio eficiente pueden analizarse 100 muestras no repetidas por día. Esta prueba también se ha adaptado a un autoanalizador para evaluar más rápidamente las líneas mejoradas -cerca de 200 muestras día- pero tiene como desventaja el ser costosa.

El procedimiento básico es preparar una curva estándar utilizando soluciones de amilosa purificada de papa, obtenida por medio del método estándar. En esta curva se comparan gráficamente los valores de trasmisión de luz de la solución coloreada con la concentración de amilosa. Luego, se tratan las muestras estándar de arroz con diversos contenidos de amilosa usando el método estándar, y se determinan los valores de trasmisión de luz. La curva resultante se utiliza para determinar el contenido de amilosa de las muestras. Sus porcentajes de amilosa se comparan con los valores de

trasmisión de luz para formar una segunda curva. Finalmente, las muestras desconocidas se tratan por medio del método simplificado, y se determinan los valores de trasmisión de luz. Con base en la segunda curva estándar, se determinan los porcentajes de amilosa de las muestras desconocidas. La segunda curva se hace para medir el efecto de la amilosa que está presente en el arroz pero no en la amilosa purificada de papa.

Los materiales y reactivos necesarios son:

- balanza analítica,
- colorímetro,
- implementos para el baño maría,
- trípode de soporte para el baño maría,
- mechero de gas.
- frascos volumétricos de 100 ml.,
- pipetas (1-5 ml),
- pipetas dispensadoras automáticas de 1 ml y 10 ml,
- metanol absoluto,
- ácido hidroclohrídrico, 0.05 N,
- hidróxido de sodio, 1 N,
- ácido acético, 1 N,
- etanol, 95%,
- solución de yodo (0.2% en 2.0% de KI), y
- amilosa purificada de papa.

### Procedimiento para determinar el contenido de amilosa.

Pasos	Puntos clave
<p><b>1</b> Preparación de muestras estándar de arroz (método estándar)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Asegúrese de que todas las muestras que se van a utilizar hayan sido almacenadas en la misma habitación por lo menos dos días para conseguir un contenido de humedad igual.</li> <li>- Seleccione como muestras estándar diversos tipos de arroz con contenidos de amilosa bajos, intermedios y altos.</li> <li>- Triture de 8 a 10 granos de cada muestra hasta pulverizarlos en un amalgamador Wig-L-Bug o en otro aparato similar durante 40 segundos. Un molino ciclón UD con un tamiz de malla 60 también se puede utilizar para triturar los granos.</li> </ul>

**Procedimiento para determinar el contenido de amilosa (continuación)**

Pasos	Puntos clave
<b>2</b> Pese las muestras	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pese 40 mg de amilosa de papa en un frasco volumétrico de 100 ml.</li> <li>- Pese exactamente 100 mg de las muestras de arroz molidas en frascos volumétricos de 100 ml.</li> </ul>
<b>3</b> Disuelva las muestras	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agregue 4 ml de metanol absoluto, lavando cuidadosamente cualquier muestra adherida a las paredes del frasco.</li> <li>- Deje reposar por dos horas y media.</li> <li>- Extraiga cuidadosamente el metanol con una pipeta.</li> <li>- Agregue 1 ml de etanol.</li> <li>- Agregue 9 ml de NaOH 1.0N, sin perturbar la muestra.</li> <li>- Caliente por 10 minutos al baño maría con el agua hirviendo.</li> <li>- Enfríe y reponga el volumen (agregue agua exactamente hasta que complete 100 ml en cada frasco y mezcle bien).</li> </ul>
<b>4</b> Prepare la solución para leer los valores de transmisión	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coloque alícuotas de 1, 2, 3, 4 y 5 ml de la solución purificada de amilosa y alícuotas de 5 ml de cada una de las soluciones de las muestras estándar de arroz en vasos de precipitación de 150 ml que contengan 50 ml de agua destilada.</li> <li>- Determine la concentración de cada solución por medio del análisis volumétrico con HCL 0.05 N para un pH de 10.5 (entre cada solución, lave los electrodos del medidor del pH con agua destilada neutra).</li> <li>- Transfiera el contenido de cada vaso a un frasco volumétrico de 100 ml, lavando muy bien el vaso con agua destilada.</li> <li>- Agregue 2 ml de solución de yodo.</li> <li>- Complete el volumen con agua neutra y mezcle.</li> <li>- Deje reposar por 20 minutos.</li> </ul>

**Procedimiento para determinar el contenido de amilosa (continuación)**

Pasos	Puntos clave
<p><b>5.</b> Lea los valores de transmisión de luz</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caliente el colorímetro por lo menos durante 30 minutos.</li> <li>- Establezca la longitud de onda a 590 nm.</li> <li>- Prepare una solución "base" siguiendo el mismo procedimiento del paso 3 pero sin usar una muestra.</li> <li>- Ajuste la lectura del medidor a 0% de transmisión.</li> <li>- Seleccione un tubo colorimétrico, llénelo con la solución base, insértelo y ajuste la lectura del medidor a 100% de transmisión.</li> <li>- Seleccione un segundo tubo que haga juego (i.e. dé una lectura de 100% de transmisión cuando se llena con la solución base preparada según el paso 3).</li> <li>- Coloque la muestra disuelta en un tubo y registre el porcentaje de transmisión.</li> <li>- Ajuste la lectura del medidor usando la solución base después de que haya leído cada muestra.</li> </ul>
<p><b>6</b> Calcule el contenido de amilosa de la muestra estándar</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grafique los valores de transmisión de las soluciones de amilosa purificada contra la concentración de amilosa (mg/ml).</li> <li>- Refiriéndose a la curva, determine el contenido de amilosa de las muestras estándar de arroz. Tenga en cuenta que las muestras de arroz fueron diluidas 20 veces.</li> </ul>
<p><b>7</b> Preparación de muestras de arroz desconocidas (método simplificado)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Igual al paso No. 1</li> <li>- Incluya tres o cuatro muestras estándar con un contenido de amilosa conocido como testigo.</li> </ul>
<p><b>8</b> Pese las muestras</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Como en el paso No. 2, punto 2.</li> <li>- Pese muestras duplicadas.</li> </ul>

**Procedimiento para determinar el contenido de amilosa (continuación)**

Pasos	Puntos clave
<b>9</b> Disuelva las muestras	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agregue 1 ml de etanol al 95%.</li> <li>- Agite el frasco para mojar el polvo.</li> <li>- Agregue 9 ml de NaOH 1.0 N.</li> <li>- Caliente por 10 minutos al baño maría hirviendo.</li> <li>- Enfríe y complete el volumen.</li> </ul>
<b>10</b> Prepare las soluciones para leer los valores de transmisión	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En un frasco volumétrico de 100 ml con 50 ml de agua destilada, coloque alícuotas de 5 ml en cada una de las soluciones de la muestra.</li> <li>- Agregue 1 ml de ácido acético 1 N y mezcle.</li> <li>- Adicione 2 ml de solución de yodo.</li> <li>- Complete el volumen con agua destilada y mezcle.</li> <li>- Deje reposar por 20 minutos.</li> </ul>
<b>11</b> Lea los valores de transmisión	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Igual al paso No. 5, excepto que se usa una longitud de onda de 620 nm y una solución base compuesta por 2 ml de I<sub>2</sub>KI y 1 ml de ácido acético en un frasco volumétrico de 100 ml diluido al volumen.</li> </ul>
<b>12</b> Prepare una segunda curva estándar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grafique los valores de transmisión de la muestra estándar obtenida en el paso No. 11 contra sus contenidos de amilosa obtenidos en el paso No. 6, punto 2.</li> </ul>
<b>13</b> Determine el contenido de amilosa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Use la curva estándar preparada en el paso No. 12.</li> </ul>

**Prueba de consistencia de gel**

El contenido de amilosa es el principal factor para determinar los puntajes de evaluación para cohesión, blandura, color, y brillo del arroz cocinado, no glutinoso. La consistencia de gel difiere entre variedades con

## 140 Mejoramiento de Arroz

contenidos altos similares de amilosa (más del 25%). La consistencia de gel del arroz con menos del 24% de amilosa es generalmente suave. La prueba de consistencia de gel se basa en la consistencia de la pasta de arroz y diferencia a las variedades con alto contenido de amilosa. La prueba fué desarrollada para complementar la de amilosa en los programas de mejoramiento genético de calidad del arroz. Esta prueba agrupa los arroces con contenidos altos de amilosa en tres categorías:

1. *Arroces muy sueltos* o esponjosos con consistencia de gel dura (longitud de gel, 40 mm o menos);
2. *Arroces sueltos* con consistencia de gel media (longitud de gel, 41 a 60 mm); y
3. *Arroces blandos* con consistencia suave (longitud de gel, más de 61 mm).

Los materiales necesarios para la prueba de consistencia de gel son:

- mezclador ciclónico vorticial Genie,
- implementos para el baño maría,
- un trípode de soporte para el baño,
- mechero de gas,
- un soporte de alambre para los tubos de ensayo,
- una balanza analítica,
- bolas de cristal (1.27 mm o 1/2 pulgada de diámetro),
- un amalgamador tipo Wig-L-Bug,
- tubos de cultivo de 13 x 100 mm (Pyrex No. 9820),
- papel milimetrado o regla, y
- repipetas de 1 y 2 ml.

### Pasos y puntos claves para probar la consistencia de gel.

Pasos	Puntos clave
<b>1</b>	
Muela las muestras	<ul style="list-style-type: none"><li>- Asegúrese de que todas las muestras hayan sido almacenadas en la misma habitación por lo menos dos días para que el contenido de humedad sea igual.</li><li>- Coloque de 8 a 10 granos molinados en un amalgamador Wig-L-Bug.</li><li>- Pulverice durante 40 segundos para obtener harina fina (de malla 100).</li></ul>
<b>2</b>	
Pese las muestras	<ul style="list-style-type: none"><li>- Pese 100 mg (+ 1 mg al 12% de humedad) del polvo, por duplicado, en los tubos de cultivo.</li></ul>

**Pasos y puntos claves para probar la consistencia de gel (continuación)**

Pasos	Puntos clave
2 Pese las muestras (continuación)	- Si los niveles de humedad difieren de 12% haga el ajuste apropiado porque la concentración del almidón es crítica.
3 Disuelva las muestras	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agregue 0.2 ml de etanol al 95% que contenga 0.025% de azul de timol (el alcohol evita la aglutinación del polvo durante la gelatinización por medio del álcali, mientras que el azul de timol suministra color a la pasta de álcali para hacer más fácil la lectura directa del gel).</li> <li>- Agregue 2 ml de KOH 0.2 N con una repipeta.</li> <li>- Mezcle todo en el mezclador vorticial Genie con una velocidad ajustada a 6.</li> <li>- Cubra los tubos con las bolas de cristal, para prevenir pérdidas de vapor.</li> <li>- Caliente al baño maría hirviendo por ocho minutos; asegúrese de que el contenido llene las 2/3 partes del tubo.</li> <li>- Retírelo del baño maría y déjelo reposar por cinco minutos.</li> <li>- Enfríe en un baño de agua helada por 20 minutos.</li> </ul>
4 Prepare los tubos para la lectura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coloque los tubos horizontalmente sobre una mesa.</li> <li>- No los perturbe por una hora.</li> </ul>
5 Registre la consistencia	- Mida la longitud total del gel (mm) desde la base del tubo o la parte frontal del gel.

**Temperatura de gelatinización**

Como se mencionó anteriormente, la temperatura de gelatinización está parcialmente asociada con el contenido de amilosa del almidón, el

principal determinante del comportamiento de cocción. Esta asociación limitada es importante porque, en ciertos casos, permite a los fitomejoradores utilizar la prueba simple de temperatura de gelatinización para estimar el contenido de amilosa, el cual es considerablemente más difícil de medir directamente.

La temperatura de gelatinización del almidón del endosperma, una prueba útil de la calidad de cocción, es la temperatura de cocción a la cual el agua es absorbida y los gránulos de almidón se hinchan irreversiblemente, perdiendo simultáneamente la cristalinidad. La temperatura de gelatinización varía de 55 a 79°C y está dividida en tres grupos principales: baja (menos de 70°C), intermedia (70-74°C), y alta (más de 74°C).

Las pruebas físicas de cocción del arroz están más estrechamente relacionadas con la temperatura de gelatinización que con el contenido de amilosa del almidón. El arroz que tiene una temperatura de gelatinización alta se vuelve excesivamente blando y tiende a desintegrarse cuando queda muy cocido. Si se emplean procedimientos estándar de cocción, el arroz con alta temperatura de gelatinización tiende a quedar medio crudo. Los arroces con temperaturas altas de gelatinización requieren más agua y más tiempo para cocinarse que aquellos con temperatura de gelatinización baja o intermedia. Por lo tanto, la temperatura de gelatinización se correlaciona positivamente con el tiempo requerido para cocinar el arroz.

El arroz molinado y remojado con una temperatura de gelatinización alta se alarga menos durante la cocción que los que tienen temperaturas de gelatinización bajas e intermedias.

La temperatura de gelatinización puede reflejar la dureza de los gránulos de almidón y del endosperma; así que esto puede influir en el ataque de insectos y hongos al arroz integral y su deterioro después de la cosecha en climas húmedos. Existe alguna evidencia de que los arroces con temperaturas de gelatinización intermedia o alta son menos afectados por tales problemas que los de temperatura baja.

La temperatura de gelatinización afecta directamente las propiedades físicas de los gránulos de almidón, lo que a su vez influye en la evaluación de la calidad del arroz cocido. Los arroces con temperatura alta de gelatinización parecen ser uniformemente indeseables en todos los programas de mejoramiento. Los consumidores en todos los mercados principales rechazan la temperatura alta de gelatinización.

La mayoría, si no todas, las variedades japónicas tienen una temperatura de gelatinización baja, mientras que una vasta mayoría de variedades

índicas tropicales tienen una gelatinización intermedia o baja. Las clases bajas e intermedias deseables con el mismo contenido de amilosa se cocinan de igual manera; por lo tanto, no hay razón para preferir una de las dos.

La herencia de la temperatura de gelatinización no es completamente clara, pero parece ser bastante sencilla y comprende uno o dos genes mayores. La temperatura de gelatinización tiene una heredabilidad razonablemente alta, aunque ésta puede variar tanto como 10°C en una misma variedad en casos excepcionales, según el medio ambiente. La temperatura alta del aire después de la floración aumenta la temperatura de gelatinización (lo cual disminuye la calidad del grano) y la temperatura baja del aire la reduce.

Muchas variedades japónicas (baja temperatura de gelatinización) y algunas de los Estados Unidos (intermedias) producen una proporción moderada de segregantes con alta gelatinización cuando se las cruza con variedades índicas tropicales. Los cruces en los cuales un padre tiene temperatura alta de gelatinización siempre producen muchos segregantes F<sub>2</sub> con alta gelatinización. Los científicos en el CIAT han observado que las selecciones F<sub>2</sub> (semilla F<sub>3</sub>), clasificadas como de temperatura de gelatinización alta, son esencialmente homocigotas para esta característica y nunca más segregan. Por lo tanto, todas las segregantes con temperatura alta de gelatinización deberían eliminarse inmediatamente. Algunas segregantes F<sub>2</sub> con temperatura de gelatinización baja, y la mayoría de las clasificadas como intermedias, continuarán segregando para las tres clases de reacción a la temperatura. Las selecciones F<sub>2</sub> que segregan como altas, intermedias y bajas en temperatura usualmente requieren varias generaciones de selección antes de llegar a ser homocigotas.

La temperatura de gelatinización no está asociada con otras características importantes de la planta y del grano, salvo ciertas correlaciones útiles con el contenido de amilosa. Por lo tanto, las temperaturas de gelatinización bajas o intermedias preferidas se recombinan fácilmente con tipos de planta mejorados, que poseen una amplia gama de caracteres favorables en cuanto a maduración, latencia, longitud y forma del grano, y calidad de cocción.

Las variedades con temperatura alta de gelatinización parecen tener bajo contenido de amilosa, lo que hace que sean pegajosas al cocinarse. La única excepción conocida es la variedad BPI76, la cual tiene una temperatura de gelatinización de alta a intermedia y un contenido de amilosa intermedio. No se conocen variedades que tengan alta temperatura de gelatinización y alto contenido de amilosa. Como en la mayoría de las áreas donde se

consumen variedades índicas se prefiere un contenido intermedio a casi alto de amilosa, los fitomejoradores pueden descartar inmediatamente los segregantes con temperatura alta de gelatinización sin necesidad de determinar su contenido de amilosa. Los segregantes de temperatura de gelatinización alta poseen una calidad de cocción inferior y son indeseables aun en las áreas índicas en donde se prefieren contenidos de amilosa bajos a intermedios, como las Filipinas e Indonesia. Similarmente, los tipos de alta gelatinización deberían descartarse de los programas de mejoramiento del Japón, en donde se prefieren contenidos bajos de amilosa, en razón del efecto perjudicial de la temperatura alta de gelatinización sobre las propiedades físicas del almidón. Es interesante observar que la correlación contraria no existe, es decir las variedades con bajo contenido de amilosa pueden tener temperaturas de gelatinización bajas o altas.

Una segunda correlación aparente se refiere a la temperatura de gelatinización intermedia, la cual parece nunca se ha recombinado con contenidos bajos de amilosa. Todas las variedades con temperatura intermedia de gelatinización tienen un contenido intermedio o alto de amilosa. Por lo tanto, en donde el contenido bajo de amilosa es indeseable, como en el caso de la mayoría de los programas con variedades índicas, una temperatura intermedia de gelatinización muestra que el almidón no tiene bajo contenido de amilosa. Tales segregantes intermedios no se deben analizar para amilosa en las generaciones tempranas, aunque la determinación de la amilosa es eventualmente necesaria para distinguir entre contenidos altos e intermedios.

La clase de baja gelatinización no tiene una asociación estricta entre los contenidos de amilosa bajos, intermedios y altos. La temperatura de gelatinización baja se recombina fácilmente con los tres niveles de amilosa.

Las siguientes asociaciones de la temperatura de gelatinización con el contenido de amilosa son desconocidas o raras: alta temperatura y amilosa intermedia; temperatura y amilosa altas; temperatura intermedia y amilosa baja. El Cuadro 2 indica las combinaciones observadas y ejemplos de cada una.

A diferencia de la determinación de amilosa, la cual requiere equipo complejo y es comparativamente difícil, la evaluación de la temperatura de gelatinización es simple y rápida. La temperatura de gelatinización se estima mediante el grado de dispersión y clarificación del arroz molido, tratado con una solución de KOH al 1.7% durante 23 horas a 30°C. Los granos con una temperatura baja de gelatinización se disuelven completamente; el endosperma de los de clase intermedia se dispersa parcialmente; y los de alta temperatura de gelatinización no son afectados por el álcali.

**Cuadro 2. Combinaciones observadas de la temperatura de gelatinización y contenido de amilosa, con ejemplos de cada una.**

Temperatura de gelatinización	Amilosa	Ejemplo
Alta	Baja	Century Patna 231
Intermedia	Intermedia	CICA 4
Intermedia	Alta	Peta. IR5
Baja	Baja	japónicas
Baja	Intermedia	muchas líneas de mejoramiento genético
Baja	Alta	IR8

Los materiales requeridos para determinar la temperatura de gelatinización son:

- cajas plásticas de 4.6 x 4.6 cm<sup>2</sup>, y 1.9 cm de alto;
- KOH (1.7 ± 0.05%). Disuelva 19.54 g de KOH en comprimidos (85%) en 1000 ml de agua destilada recién hervida y enfriada. Almacene la solución por lo menos 24 horas antes de utilizarla; y
- repipetas (opcional).

#### **Pasos para determinar la temperatura de gelatinización.**

Pasos	Puntos clave
<b>1</b> Prepare las muestras	- Seleccione juegos duplicados de 6 granos molinados sin cuarteaduras y colóquelos en las cajas plásticas.
<b>2</b> Disuelva las muestras	- Agregue 10 ml de KOH al 1.7%.
<b>3</b> Arregle las muestras	- Deje suficiente espacio entre los granos para permitir su dispersión.
<b>4</b> Cubra las cajas; deje reposar por 23 horas	- Mantenga la temperatura constante a 30°C o use la temperatura ambiente para asegurar una mejor reproducción.
<b>5</b> Clasifique visualmente la apariencia y dispersión del endosperma	- Un puntaje de dispersión de 1-3 indica una temperatura de gelatinización alta, 4-5 intermedia y 6-7 baja. Los valores de clareamiento son usualmente una unidad más bajos que los de dispersión.



1. *Dispersión de arroz mediante la prueba alcalina (foto M. Rosero)*

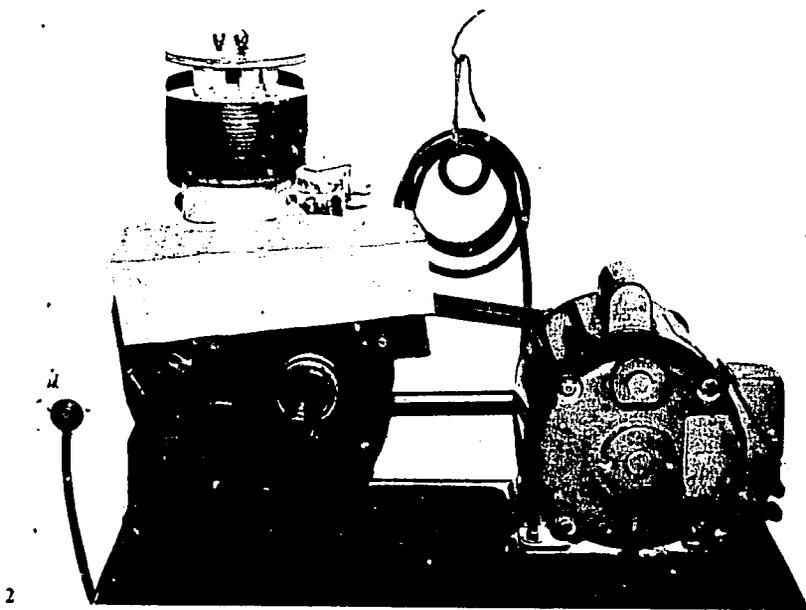
El Cuadro 3 presenta la escala de la temperatura de gelatinización. El arroz integral no reacciona satisfactoriamente al álcali; por consiguiente, la clasificación de las clases altas e intermedias del arroz integral es particularmente difícil y las muestras se deben molinar.

Es necesario utilizar molinos contruidos para ese fin ya que no existen en el comercio molinos apropiados para muestras pequeñas. Dichos molinos tienen por objeto agitar los tubos de ensayo que contienen la mezcla de arroz integral y un abrasivo. El principal problema de algunos molinos de tubo de ensayo es que requieren un tiempo prolongado de agitación para moler el grano hasta el punto requerido.

Cuadro 3. Escala numérica de la temperatura de gelatinización del arroz.

Escala	Dispersión	Clareamiento
1	Grano no afectado	Grano yesoso
2	Grano hinchado	Grano yesoso; halo harinoso
3	Grano hinchado; halo completo o angosto	Grano yesoso; halo algodonoso o nublado
4	Grano hinchado; halo completo y ancho	Centro algodonoso; halo nublado
5	Grano partido o separado; halo completo y ancho	Centro algodonoso; halo opaco
6	Grano disperso fusionándose con el halo	Centro nublado; halo claro
7	Grano completamente disperso y fusionado	Centro y halo claros

En el CIAT se construyó un molino adecuado con un motor de un cilindro. Se talló un pedazo de madera dura para que encajara exactamente dentro del cilindro y se fijó con pernos a la cabeza del pistón, dejando un espacio muerto de unos pocos centímetros sobre el cilindro cuando el pistón se encontraba completamente hundido. Un bloque de madera, con 27 huecos para tubos de ensayo, se acondicionó en la puerta superior. El motor se conectó con una polea a un motor eléctrico.



2

*Molino diseñado en CIAT para muestras pequeñas de arroz (foto M. Rosero).*

Para molinar, coloque de uno a dos g de granos descascarados de una sola planta en los tubos de ensayo con un volumen casi igual de gránulos de óxido de aluminio (malla 60). Tape los tubos con corchos y cierre la cubierta para sostenerlos firmemente dentro del bloque de madera. Haga funcionar el motor eléctrico durante 30 segundos para moler completamente el grano. Retire los tubos de ensayo y tamice el abrasivo para separarlo del arroz molinado.

El contenido de amilosa, la consistencia de gel, la temperatura de gelatinización, y el tamaño, forma y apariencia del grano se pueden determinar fácilmente en el laboratorio cuando se cuenta con estas facilidades.

Hasta que se disponga de otras técnicas de evaluación, los programas con restricciones financieras pueden limitar los análisis más complejos a las

líneas puras a medida que se avanzan a ensayos de observación. Estos representarían solamente algunos cientos de análisis por año. Esta alternativa es obviamente inferior a la evaluación de miles de plantas seleccionadas por año empezando con granos de F<sub>2</sub> o F<sub>3</sub>, pero dicha evaluación masal supera la capacidad financiera de muchos programas.

El arroz se clasifica en grupos amplios de calidad de cocción mediante la evaluación complementaria del contenido de amilosa, consistencia de gel y temperatura de gelatinización. Sin embargo, las variedades dentro de cada grupo difieren en cuanto a palatabilidad, una diferencia que invariablemente detectan los consumidores. Esta variabilidad entre grupos aún no está bien definida; consecuentemente, los fitomejoradores siempre deberían cocinar y probar tanto el arroz cocinado caliente como frío de la mayoría de sus materiales promisorios antes de distribuirlo como variedades. Los obreros de campo son particularmente útiles para las pruebas de degustación porque sus preferencias a menudo difieren de las de personas de altos ingresos. Además se pueden repartir muestras de arroz molinado junto con un cuestionario simple entre las familias del área para evaluar la calidad de cocción. El arroz en cáscara debe almacenarse por lo menos cuatro meses después de la cosecha antes de la prueba de degustación. El tiempo de almacenamiento aumenta la absorción del agua y la expansión del grano durante la cocción, lo que permite obtener un arroz más suelto y esponjoso que cuando se le cocina recién cosechado.

## **Contenido de proteína**

El arroz es superior nutricionalmente a muchos otros alimentos ricos en carbohidratos. El contenido de proteína del grano, aunque sujeto a cambios varietales y ambientales, promedia cerca del 7% en el arroz molinado y 8% en el arroz integral. El balance de aminoácidos de la proteína del arroz es excepcionalmente bueno. El contenido de lisina, por ejemplo, representa en promedio cerca del 3.8 a 4.0% de la proteína.

Un hecho importante y bien documentado es que el grano de las variedades nuevas de alto rendimiento contiene tanta proteína como la de las variedades tradicionales, ya sea que se les aplique o no algún fertilizante nitrogenado. No obstante, tanto el rendimiento de grano como el contenido de proteína de las nuevas variedades aumenta cuando se utiliza abundante nitrógeno y prácticas de cultivo mejoradas. Los incrementos de una a dos unidades porcentuales en el contenido de proteína, inducidos mediante prácticas agronómicas apropiadas, para niveles de rendimiento de 6 a 9 ton/ha son comunes. Esto indica que las nuevas variedades de alto rendimiento aumentan el consumo humano de proteína.

A pesar de estos aspectos positivos de la calidad nutricional del arroz, es importante acrecentar aún más el contenido inherente de proteína del grano, particularmente en áreas del Asia en donde el consumo de arroz representa cerca del 80% de las calorías ingeridas y es difícil sustituir el arroz por otras fuentes proteínicas. Incrementar genéticamente el contenido promedio de proteína en dichas áreas del 7 al 9 ó 10% sería una contribución muy valiosa.

En otras áreas arroceras en desarrollo el consumo del arroz es de menos de 50 kg/ persona/ año y las clases de ingresos económicos bajos consumen grandes cantidades de yuca, plátano, papa, maíz, panela, y otros alimentos que son inferiores al arroz en cuanto a contenido de proteína o balance de aminoácidos, o ambos. El precio del arroz en el mercado local es a menudo similar o inferior al de los sustitutos con base en el peso seco. Pero, paradójicamente, las amas de casa en las Américas a menudo compran otro producto en lugar del arroz debido a la creencia errónea y ampliamente divulgada de que su valor nutricional es inferior.

La calidad de la proteína del arroz es básicamente una función del contenido de proteína del grano. A medida que se aumenta el nivel de proteína, ya sea agronómica o genéticamente, disminuye la pérdida de proteína en la molinería, lo que indica que la mayoría de la proteína adicional no está en el salvado. Aún más, la composición de aminoácidos permanece relativamente estable. Algunos aminoácidos esenciales, incluyendo la lisina, el triptófano, y la treonina, sí disminuyen un poco a medida que aumenta la proteína, pero la proporción de estos aminoácidos no decrece tan rápidamente como aumenta la proteína. Esto se verificó al observar el mejor balance de nitrógeno de los individuos alimentados con arroz molido de alto contenido proteínico que contenía niveles totales más altos de los aminoácidos esenciales. Por lo tanto, el arroz de alta proteína parece ser nutricionalmente superior que el arroz con un contenido normal.

Algunos programas de mejoramiento genético están enfocando su atención al contenido total de proteína como la principal limitación nutricional del arroz. La diferencia básica entre variedades normales y de alta proteína consiste en que las últimas translocan más nitrógeno de la hoja al grano en desarrollo. Además, las variedades altas en proteína tienen un nivel más alto de aminoácidos libres en el grano en desarrollo y la proteína es sintetizada más rápidamente. El IRRI ha evaluado gran parte de la colección mundial de germoplasma en busca de variedades con niveles altos de proteína. Durante un estudio preliminar, 7419 muestras cosechadas durante las estaciones lluviosa y seca en suelos fértiles del IRRI promediaron 10.5% de proteína. De éstas, 101 muestras, incluyendo varias

variedades glutinosas, contenían más de 13.5% en cada estación, y unas pocas excedieron el 15%. Estos altos valores ilustran unos de los problemas de evaluación de la proteína. Las cifras para la proteína obtenida en parcelas experimentales son siempre más altas que las registradas en las fincas, porque el uso del nitrógeno es mayor y el control de agua y malezas es mejor bajo condiciones experimentales.

La experiencia del IRRI indica que puede ser posible combinar contenidos más altos de proteína y un balance normal de aminoácidos con los altos rendimientos de los mejores tipos de plantas enanas. Pero el fitomejoramiento para aumentar el contenido de proteína reviste muchos problemas. Es dudoso que los agricultores, molineros o consumidores paguen un precio mayor por un cereal con alto contenido proteínico, ya que el mayor valor nutricional no es suficiente para vender una nueva variedad. Por lo tanto, deberán incorporarse contenidos de proteína mejorados en las líneas con un rendimiento igual o superior al de las variedades existentes. En este sentido, el mejoramiento del contenido de proteína es más difícil que el mejoramiento de la calidad de molinería o cocción, las cuales determinan por sí mismas la aceptación o rechazo de una variedad. Hasta que se tenga mayor conocimiento al respecto, el mejoramiento del contenido de proteína no debería ser un objetivo de la mayoría de los programas de mejoramiento genético del arroz nacionales y locales.

La herencia del contenido de proteína parece ser compleja. No se han identificado genes individuales responsables de los niveles superiores de cada uno de los aminoácidos, similares al gen opaco 2 al que se debe el mayor contenido de lisina del maíz. La extrema variación en el contenido de proteína causada por el ambiente dificulta la identificación de líneas con un alto contenido de proteína genéticamente determinado. Se ha estimado que únicamente de 25 a 50% de la variabilidad de la proteína es controlada genéticamente. Las influencias ambientales principales son el daño ocasionado por enfermedades e insectos, el tiempo, la uniformidad de las dosis de fertilizante y el control del agua. Debido a la considerable variabilidad que existe entre y dentro de las panículas de plantas individuales, se debe cosechar toda la planta para asegurar una muestra uniforme.

El contenido de proteína no está relacionado con ningún carácter visible del grano, por lo tanto, el análisis proximal es esencial. Para el análisis probablemente es superior el arroz integral al molinado, toda vez que es difícil estandarizar el grado de molinería para todas las muestras. Las muestras con alto contenido de proteína son más resistentes a la molinería con abrasivos, rinden menos salvado y harina, dan rendimientos más altos

de arroz entero, y pueden ser un poco más oscuras que las muestras con contenidos más bajos de proteína. El arroz molinado con alto contenido de proteína requiere más agua y tiempo para cocinarse, pero tiene la misma calidad de cocción que el arroz normal.

Los químicos que trabajan con cereales en el IRRI han modificado la determinación estándar de proteína para incrementar su eficiencia y exactitud. Diariamente se analizan de 200 a 300 muestras con un sistema autoanalizador mediante la prueba colorimétrica del amoníaco resultante de la digestión micro-Kjeldahl. Como el equipo de laboratorio requerido es costoso y el análisis complejo, pocos programas de mejoramiento de países en desarrollo pueden o deberían intentar por el momento mejorar genéticamente el contenido de proteína. Son muchos los problemas más importantes y más fáciles de resolver que tienen prioridad.

## Aroma

El grano aromático o perfumado, una característica de calidad relativamente de poca importancia, es preferido en algunas áreas del Asia y recibe un precio más alto en ciertos mercados especiales. Paquistán y Tailandia son las mejores fuentes de variedades fuertemente aromáticas, tales como Basmati 370, Leuang Hawn y Khao Dawk Mali. En el IRRI se transfirió recientemente el carácter perfumado a tipos mejorados de planta con endosperma común y glutinoso.

Los fitomejoradores que trabajan en áreas donde el arroz aromático es indeseable deben estar conscientes de este carácter cuando introducen líneas mejoradas o variedades establecidas de países donde el aroma es cotizado. Por ejemplo, varias líneas avanzadas de IR841 fueron inicialmente promisorias en América Latina y una de ellas se multiplicó y distribuyó como variedad en Costa Rica hasta que la susceptibilidad a la piricularia obligó a descartarla. Al cocinarse, las líneas de este cruce tenían trazas de aroma que hubieran objetado los consumidores en algunos países.

La herencia del aroma depende de uno a tres factores complementarios. Poco se conoce acerca del comportamiento del aroma cuando se somete a fitomejoramiento y de la influencia del medio en su intensidad.

Una prueba simple de laboratorio fue desarrollada en el IRRI para evaluar el aroma. Coloque de 30 a 40 granos molidos recién cosechados en un tubo de ensayo con 20 ml de agua destilada. Luego tape el tubo y

**152** Mejoramiento de Arroz

colóquelo en agua hirviendo por 10 minutos (el arroz integral requiere 20 minutos). Saque el tubo de ensayo y déjelo enfriar. Clasifique el aroma como fuerte, intermedio, suave o inexistente. Incluya una variedad fuertemente aromática en cada prueba como base de comparación.

## CAPITULO 7

# Mejoramiento Genético de la Resistencia a Plagas

El desafío de incorporar resistencia estable a las principales enfermedades e insectos en las variedades tropicales modernas supera cualquier contribución anterior del mejoramiento del arroz. Varios factores hacen de la resistencia a plagas un objetivo importante de tal mejoramiento.

- El arroz se cultiva ampliamente en los trópicos húmedos cálidos, donde las plagas abundan mucho más que en las regiones templadas, porque los patógenos no invernán en los trópicos y los insectos no entran en diapausa.
- La amplia adopción de los nuevos arroces enanos ha creado condiciones altamente favorables para algunas plagas. Las aplicaciones altas de nitrógeno, los espaciamientos cortos, y las siembras continuas han aumentado la severidad de la piricularia, añublo bacterial, añublo de la vaina, e insectos chupadores.
- El costo de los pesticidas agrícolas está aumentando, y el público cada vez es más consciente de los efectos nocivos de tales químicos en el medio ambiente. Por lo tanto, la alternativa es ganar la confianza del público en la resistencia de los hospedantes, a fin de disminuir los costos de producción y reducir las pérdidas de campo.
- La diseminación de tan sólo unas cuantas variedades recientes en millones de hectáreas amenaza con sofocar genéticamente cientos de variedades locales. Este incremento de la uniformidad genética y fenotípica ha destruido una importante barrera natural a la dispersión de epidemias. Aunque el número de nuevas variedades crece constantemente y continuará en ascenso, la cantidad de variabilidad genética jamás se aproximará a su nivel anterior.

Afortunadamente, la amplia variabilidad genética en el arroz suministra una resistencia útil a la mayoría de las plagas principales. Sin embargo, esta resistencia apenas ha empezado a explotarse apropiadamente.

El mejoramiento de la resistencia a enfermedades en el arroz tropical alcanzó cierto éxito en el pasado. Por ejemplo, la resistencia de las variedades enanas a piricularia no ha sido adecuada para las áreas endémicas en América Latina, pero ha sido generalmente más amplia que la resistencia de muchas variedades indígenas en las regiones délticas del Asia monzónica. La resistencia ha reducido eficazmente las pérdidas ocasionadas por el añublo bacterial, los virus tungro, hoja blanca y enanismo, en varios países. Por otra parte, aún no se han desarrollado variedades con resistencia al añublo de la vaina y helmintosporiosis. Aunque algunas variedades son resistentes a la cercosporiosis y escaldado de la hoja, los programas de mejoramiento no han hecho énfasis en el desarrollo de variedades resistentes a estas enfermedades.

Sin embargo, el mejoramiento por resistencia a insectos en arroz ha sido espectacularmente exitoso en algunos casos, e ilustra la importancia de no aceptar automáticamente la opinión profesional vigente. Antes de 1962, la mayoría de los científicos consideraban la resistencia a insectos como un área inservible de la investigación. Pero los entomólogos del IRRI persistentemente evaluaron la resistencia de miles de variedades de arroz a las especies locales importantes de barrenadores y chupadores. Tan pronto como se observaron grandes diferencias en la reacción varietal, la resistencia a insectos fue aceptada como un objetivo principal del mejoramiento. Se desarrollaron rápidamente pruebas de resistencia y se identificaron progenitores resistentes. Entre los principales insectos que ahora se pueden controlar satisfactoriamente por medio de la resistencia de la planta están cuatro chupadores, la mosca de las agallas y, en menor grado, varias especies de barrenadores.

Ocasionalmente se ha encontrado resistencia en variedades en las cuales no se sospechaba. Por ejemplo, el Sogatodes o sogata, un insecto inicialmente importante del arroz en América Latina tropical, es desconocido en el Asia. No obstante, cuando se introdujeron las nuevas variedades enanas en América Latina, se encontró que algunas tenían mayor resistencia a esta plaga. Esta resistencia fue incorporada en las variedades CICAS, eliminando el insecto como una plaga de importancia económica. Similarmente, muchas variedades japónicas del Asia son resistentes al virus hoja blanca, el cual está limitado al hemisferio occidental. Un arroz silvestre de la India, *O. nivara*, sigue siendo la mejor fuente de resistencia al virus enanismo, y hasta ahora, no se ha encontrado una fuente de resistencia mejor en más de 12,000 introducciones de *O. sativa* que se han seleccionado.

El mejoramiento por mutación del arroz no ha contribuido significativamente a la resistencia a plagas, a pesar de las cuantiosas inversiones de dinero y tiempo. Unos cuantos programas seleccionados deberían tratar de utilizar los procedimientos de mutación del mejoramiento para desarrollar variedades resistentes a ciertas plagas para las que aún no se hayan encontrado fuentes de resistencia. Sin embargo, el principal objetivo de todos los programas debería ser explotar la variabilidad genética existente en el arroz cultivado, mediante las prácticas convencionales de mejoramiento.

Falta mucho por hacer en cuanto al desarrollo de variedades de arroz con resistencia diversa pero estable a las plagas de grandes áreas de producción. Las variedades mejoradas resistentes a las plagas probablemente se cultivan en menos de la mitad del área mundial arrocería irrigada. La mayoría de ellas son resistentes únicamente a una o dos plagas, pero los fitomejoradores pueden ahora desarrollar nuevas variedades con resistencia combinada a la mayoría de las principales enfermedades y plagas.

### **Enfoque interdisciplinario de la resistencia a plagas**

A pesar de la frecuencia con que se promulga la importancia fundamental de la cooperación interdisciplinaria en el trabajo sobre resistencia a plagas, el esfuerzo que se está haciendo para resolver este problema, a través de un enfoque unificado, es insuficiente. Una práctica de mejoramiento muy difundida que debe erradicarse, es la costumbre de los fitomejoradores de estrechar las bases de selección para las características agronómicas en las generaciones tempranas, y luego solicitar a los patólogos y entomólogos que determinen cuales de las relativamente pocas líneas avanzadas son resistentes. Es sorprendente que haya sido posible identificar y aprovechar algún tipo útil de resistencia por medio de este sistema. Los fitomejoradores deben cambiar de actitud e invitar a otros especialistas para que compartan con ellos las responsabilidades en los fracasos y el reconocimiento por sus aciertos.

Por otra parte, demasiados patólogos y entomólogos consideran que su misión principal es investigar exhaustivamente las peculiaridades de patógenos y hospedantes, primordialmente para aumentar el número de sus publicaciones, poniendo poco o ningún interés en el éxito de la resistencia varietal en el campo. Por lo tanto, el primer desafío para los científicos arroceros es reconocer que su principal responsabilidad es mejorar y proteger la capacidad de rendimiento del cultivo, y que ellos deben aunar sus talentos especializados para alcanzar esta meta.

Los patólogos y entomólogos encuentran muchos desafíos en razón de la asociación diaria con los fitomejoradores, entre ellos el tener que dar mayor énfasis al mejoramiento permanente de los métodos de selección y a la identificación y utilización de donantes con resistencia estable a las diferentes razas y biotipos de las plagas. La epidemiología de los agentes patógenos de los hospedantes, así como también la ecología de los diversos insectos, se deben estudiar más profundamente para entender mejor los factores que influyen en la variabilidad de patógenos y predadores, y que conducen a serios ataques de enfermedades e insectos.

### **Resistencia estable**

El principal objetivo de todos los programas de mejoramiento para resistencia es identificar y utilizar efectivamente la resistencia estable a las principales plagas. Una fuente amplia de resistencia estable a las plagas debería mantener un nivel satisfactorio de resistencia a largo plazo contra las diversas razas y biotipos en muchas regiones. Las plantas hospedantes generalmente poseen uno de los dos tipos de resistencia a las enfermedades:

- resistencia vertical o específica, que consiste en restringir el proceso de infección, o
- resistencia horizontal o no específica, que consiste en restringir la colonización, crecimiento y dispersión del parásito antes de la infección. El tipo específico de resistencia dura generalmente poco tiempo, mientras que la resistencia no específica tiene mayor duración.

El número de genes que controlan directamente la resistencia condicionan la facilidad y efectividad de aprovechamiento de dicha resistencia. La resistencia específica, usualmente controlada por uno o dos genes, es relativamente fácil de aprovechar porque las reacciones entre las poblaciones segregantes son discretas y fácilmente identificables. Por otra parte, la resistencia no específica, controlada por varios genes, es mucho más difícil de evaluar y manipular, ya que no se expresa a un nivel confiable en las pruebas de plántulas, y requiere técnicas especiales para la evaluación de plantas adultas directamente en el campo. La transferencia de caracteres cuantitativos a plantas de tipo mejorado es una tarea formidable. La variabilidad de los principales patógenos e insectos del arroz se indica en los Cuadros 1 y 2.

En muchos cultivos se han usado, individualmente, genes simples de resistencia vertical. Dicha resistencia ha sido duradera contra patógenos que tienen poca variabilidad genética, pero es inestable contra patógenos

Cuadro 1. Variabilidad de los principales patógenos del arroz y fuentes de resistencia.

Enfermedad	Patógeno o vector	Variabilidad del patógeno	Tipo aparente o resistencia	Genes de resistencia	Algunos progenitores de resistencia
Escaldado de la hoja	<i>Rhynchosporium oryzae</i>	Baja	Probablemente horizontal	No definidos	Algunas líneas mejoradas tienen tolerancia
Piricularia	<i>Pyricularia oryzae</i>	Muy alta	Vertical; se supone existencia horizontal	12 o más	Muchos, pero Tetep, Carreón y Tadukan han demostrado ser bastante estables
Añublo de la vaina	<i>Rhizoctonia solani</i>	Baja	Desconocida, pero probablemente horizontal	No definidos	Ta-poo-cho-z
Añublo bacterial	<i>Xanthomonas oryzae</i>	Intermedia	Vertical con genes modificadores	<i>Xa 1</i> <i>Xa 2</i> <i>Xa 3</i> <i>Xa 4</i>  <i>xa 5</i>  <i>Xa 6</i> <i>Xa 7</i>	TKM 6, Sigadis, IR22, MTU 15, Pelita 1/1, BJ 1, DZ 192, Kele, Chinsurah Boro II, Dular, Hashikalmi Zenith DV 85
Virus tungro	<i>Nephotettix virescens</i>	Intermedia a baja	Vertical	No definidos	Muchos, pero Peta, Gam Pai y Sigadis han sido ampliamente usados.
Virus enanismo	<i>Nilaparvata lugens</i>	Baja	Vertical	GS	<i>O. nivara</i>
Virus hoja blanca	<i>Sogatodes oryzicola</i>	Baja	Vertical	No definidos	CICA 4, ICA 10 Colombia I

genéticamente variables. Varias estrategias de mejoramiento se han sugerido para evitar que las poblaciones de patógenos cambien y aumenten, por consiguiente, la duración de la resistencia efectiva (Cuadro 3). Se han ensayado unas cuantas estrategias, en pequeña escala, pero todas requieren mucho más estudio. A continuación se describen tres estrategias de mejoramiento.

Cuadro 2. Variabilidad de los principales insectos y fuentes de resistencia.

Insecto	Nombre científico	Variabilidad	Tipo de resistencia	Genes de resistencia	Algunos progenitores de resistencia
Saltahojas café	<i>Nilaparvata lugens</i>	Alta	Antibiosis	<i>Bph 1</i> <i>bph 2</i> <i>Bph 3</i> <i>bph 4</i>	Mudgo, TKM 6 ASD 7, PTB 18 Rathu Heenati Babawee
Saltahojas verde	<i>Nephotettix virescens</i>	Baja	Antibiosis	<i>Glh 1</i> <i>Glh 2</i> <i>Glh 3</i> <i>glh 4</i> <i>Glh 5</i>	Pankhari 203 ASD 9 IR8 PTB 8 ASD 8
Sogata	<i>Sogatodes oryzicola</i>	Baja	Antibiosis		IR8, CICA 4, CICA 7, CICA 8
Chupador de dorso blanco	<i>Sogatella furcifera</i>	Baja	Antibiosis		N22
Mosca agalla	<i>Orseolia oryzae</i>	Intermedia	Antibiosis		PTB 18, PTB 21
Barrenadores del tallo		Baja	No preferencia y antibiosis		
Rayado amarillo	<i>Chilo suppressalis</i> <i>Tryporyza incertulas</i>				TKM 6 IR1820-52

- **El desplazamiento de genes** es el cultivo selectivo de variedades con distintos genes individuales de resistencia vertical en diferentes regiones geográficas donde se produce ampliamente un cultivo. Por ejemplo, si se dispersan tres genes en un área amplia, las pérdidas de rendimiento por una nueva raza patogénica pueden ser severas en una región, pero no en las otras dos. Este método es poco útil para la mayoría de las áreas arroceras, porque la distribución de las variedades no puede ser manipulada fácilmente.
- **Genes en pirámide** es la incorporación de varios genes principales de resistencia vertical en una sola variedad. Los genes de resistencia vertical que funcionan colectivamente en una sola base genética pueden contribuir a la resistencia horizontal. La disposición de genes

Cuadro 3. Efectividad relativa de varias estrategias de mejoramiento en el desarrollo de resistencia estable a enfermedades.

Estrategia de mejoramiento	Estabilidad de la resistencia cuando la variabilidad del patógeno es		
	Baja	Intermedia	Alta
Resistencia vertical			
Genes usados individualmente	Larga	Intermedia	Corta
Agrupación de genes	Larga	Larga	Intermedia a larga
Multilíneas	a	a	Larga
Resistencia horizontal <sup>b</sup>	a	Larga	Larga

a Sin importancia

b Los mecanismos que ayudan a retardar la diseminación de las epidemias cuando hay resistencia horizontal son sitios y áreas de infección reducidos, períodos largos de incubación antes de la reproducción del patógeno, cantidades pequeñas de tejidos invadidos a partir de cada sitio de infección, niveles bajos y poca duración de la producción, y dispersión del inoculo desde cada sitio de infección.

en pirámide puede ser promisoria para conseguir resistencia estable a varias enfermedades del arroz, aunque aún no se han desarrollado las técnicas para identificar la constitución genética de las líneas seleccionadas. A algunos científicos les preocupa el hecho de que la agrupación de genes en pirámide en variedades individuales pueda hacer perder los genes de resistencia demasiado rápidamente.

- **Las multilíneas** son mezclas de varias líneas componentes, cada una con caracteres fenotípicos similares pero con diferentes genes de resistencia vertical. Las multilíneas tienen algunos caracteres de ambas resistencias, vertical y horizontal, toda vez que reducen no sólo el nivel inicial de la enfermedad sino también su tasa de multiplicación. Desafortunadamente, la dificultad para desarrollar y mantener multilíneas limita su posible uso únicamente a aquellas enfermedades con alta variabilidad patogénica como la piricularia, para la cual no se puede obtener resistencia estable por métodos más sencillos.

Casi toda la resistencia identificada y utilizada hasta ahora para las principales enfermedades del arroz es vertical. La resistencia vertical ha sido utilizada principalmente por la simplicidad y rapidez con que se pueden evaluar e identificar los donantes, e incorporar los genes de resistencia en las variedades mejoradas. La resistencia vertical ha sido de larga duración para los virus hoja blanca, tungro y el enanismo, intermedia

para el añublo bacterial, y corta para la piricularia. En áreas en donde el escaldado de la hoja, el añublo de la vaina y la helmintosporiosis son endémicas, los fitomejoradores seleccionan las plantas menos afectadas. Las diferencias observadas en la reacción de la planta probablemente obedecen a la resistencia horizontal.

La resistencia a insectos está clasificada en tres categorías amplias:

- no preferencia, porque los factores de la planta la hacen poco atractiva para la oviposición, alimentación o convivencia de los insectos;
- antibiosis, la cual afecta adversamente la alimentación y multiplicación de los insectos en la planta; y
- tolerancia, mediante la cual las plantas soportan poblaciones grandes de insectos sin sufrir mayor daño.

La no preferencia y la antibiosis son los tipos más efectivos de resistencia para controlar la mayoría de los insectos porque reducen las poblaciones. La tolerancia, en cambio, no inhibe la multiplicación del insecto y puede contribuir a que se multiplique aún más.

La herencia simple de la resistencia ha sido duradera en el caso del saltahoja verde y *Sogatodes oryzicola*, pero muy breve para el saltahoja café (*Nilaparvata lugens*). El efecto de la resistencia multigénica en los barrenadores ha sido difícil de evaluar por cuanto los niveles de resistencia han sido generalmente bajos y las poblaciones de las principales especies de barrenadores han sido relativamente pequeñas.

## Procedimientos de evaluación

Aplicar procedimientos efectivos de evaluación es esencial para tener éxito en un programa de mejoramiento de resistencia. Se deben utilizar procedimientos individuales para cada plaga porque las interacciones hospedante-patógeno y hospedante-insecto varían grandemente. Los procedimientos simples de evaluación con plántulas se utilizan para identificar plantas resistentes a algunas plagas como piricularia, añublo bacterial, saltahoja y chupadores. Pero otras plagas como los virus transmitidos por vectores y los barrenadores son más complejas y requieren procedimientos complicados. En la evolución de resistencia y en los programas de mejoramiento se puede avanzar rápidamente, siempre y cuando las técnicas sean sencillas y eficientes, y sus resultados se correlacionen altamente con el comportamiento de la plaga en el campo.

Pero el progreso es lento, y se pierde tiempo valioso y dinero cuando los procedimientos son demasiado complicados y engorrosos, o no se relacionan bien con la reacción de la planta adulta en el campo.

Los fitopatólogos y entomólogos han logrado grandes progresos en el desarrollo de procedimientos de selección simples y efectivos para varias enfermedades e insectos del arroz. Los procedimientos ahora utilizados para evaluar varios problemas (Cuadro 4) son modificaciones de pruebas efectuadas bajo dos condiciones básicas:

- evaluación en el campo bajo condiciones naturales o parcialmente modificadas, y
- evaluación de plántulas bajo condiciones parcialmente modificadas en el campo, en casas de malla o en invernaderos.

Todos los procedimientos de evaluación deben adaptarse para satisfacer las condiciones ambientales locales y para utilizar más eficiente y efectivamente los recursos y la mano de obra disponibles. Las evaluaciones naturales de campo deberían recibir prioridad cuando la incidencia de las plagas es adecuada para dar resultados consistentes. Manipulando los hospedantes, las plagas y el medio ambiente las incidencias se pueden mantener a niveles consistentemente altos por largos períodos de tiempo que permitan hacer varias evaluaciones cada año.

La evaluación de plántulas puede ser altamente eficiente si los resultados concuerdan con aquellos en estado de planta adulta. Desafortunadamente, las evaluaciones de plántulas y plantas adultas no concuerdan completamente para varias plagas del arroz. Aún más, parece poco probable que las pruebas de plántulas sean útiles para detectar la resistencia horizontal.

En las áreas en donde las condiciones no se puedan manipular para provocar el desarrollo de la enfermedad o del insecto, se deben buscar sitios alternos de prueba. Por ejemplo, los ataques de plagas son escasos en las parcelas experimentales de Lambayeque, en la costa árida del Perú. Los científicos peruanos solucionaron este problema probando el material en el interior de la selva donde la piricularia y la helmintosporiosis son epidémicas. Aún cuando el establecimiento de sitios alternos es costoso e inconveniente, la alternativa de no probar la resistencia puede tener resultados funestos.

Cuadro 4. Procedimientos de evaluación usados para determinar variedades de arroz resistentes a plagas

Procedimiento de evaluación	Plagas <sup>a</sup>
<i>Evaluación en el campo</i>	
Infección o infestación natural	
Durante todo el año en áreas endémicas o estacionales con ambientes y condiciones de cultivo favorables	Muchas
Infección o infestación natural con manipulación cultural o del medio:	
Epoca de siembra	Muchas
Siembras de relevo	RTV, GSV, BPH
Espaciamientos pequeños	BB
Nutrición de la planta (nitrógeno)	B, BB, SHB
Factores climáticos (temperatura, humedad ambiental y foliar)	B, BB, SHB, GM
Luz artificial	GM
Aplicación de insecticidas selectivos	BPH
Inoculación e infestación artificial:	
Inoculación individual de plantas	BB, SHB
Inoculación masal	B, BLS, SHB
<i>Evaluación de plántulas</i>	
Infección natural con manipulación:	
Epoca de siembra	B
Siembras de relevo	B
Espaciamientos pequeños	B
Nutrición de la planta (nitrógeno)	B
Modificación de la humedad ambiental y foliar	B
Invernadero y casa de malla:	
Inoculación o infestación artificial en invernadero	BB, RTV, GSV, BPH, GLH, SPH, WBPB
Inoculación o infestación artificial con manipulación en invernadero o casa de malla	
Epoca de siembra	SB
Modificación de la humedad ambiental y foliar	GM

<sup>a</sup> B= pircularia. SHB=añublo de la vaina. BB= añublo bacterial. BLS= rayado bacterial de la hoja. RTV= virus tungro del arroz. GSV= virus del enanismo. BPH= saltahojas café. GM= mosca agalla. GLH= saltahojas verde. SPH=sogata. SB= barrenador del tallo. WBPB=sogata de dorso blanco.

Todo programa de mejoramiento debería aprovechar los viveros de evaluación del Programa Internacional de Pruebas de Arroz (IRTP). Las introducciones seleccionadas de varios programas pueden evaluarse naturalmente en "sitios clave" del mundo, así como también bajo condiciones controladas en aquellos programas que tienen recursos disponibles. En esta forma pueden evaluarse las introducciones contra diversas razas, tipos y biotipos bajo numerosas condiciones ambientales. Las pruebas del IRTP suministran información útil sobre progenitores resistentes y progenies para la selección y utilización en los programas locales.

Es evidente que en el futuro se debe hacer más énfasis en la resistencia horizontal. Esto requerirá mucha investigación sobre metodologías de evaluación y la epidemiología y ecología de las enfermedades e insectos.

Independientemente de los métodos de selección que se utilicen, es de gran importancia provocar el desarrollo de epifitias e infestaciones de insectos en todas las parcelas de mejoramiento. Los fitomejoradores muy a menudo se alarman por los ataques fuertes de enfermedades y tratan de eliminarlas o reducirlas. A pesar de que los fitomejoradores argumentan que sus parcelas se deslucen o pierden material genético valioso, la pérdida de tales líneas debido a las plagas es realmente una "bendición" porque pueden concentrar sus recursos en los pocos materiales promisorios que sobreviven.

## **Integración de las técnicas de evaluación y mejoramiento**

Para que puedan ser eficaces, las técnicas de evaluación y los procedimientos de mejoramiento deben integrarse totalmente en programas de mejoramiento de resistencia, manejables y productivos. Cada programa requiere una combinación especial de técnicas de evaluación y mejoramiento para satisfacer mejor los objetivos locales.

Los fitopatólogos y entomólogos de cada programa deben establecer programas comprensivos de evaluación para identificar los donantes o progenitores y evaluar sus progenies por resistencia a problemas individuales. El fitomejorador debe integrar los diversos esfuerzos individuales de evaluación en un programa único de mejoramiento.

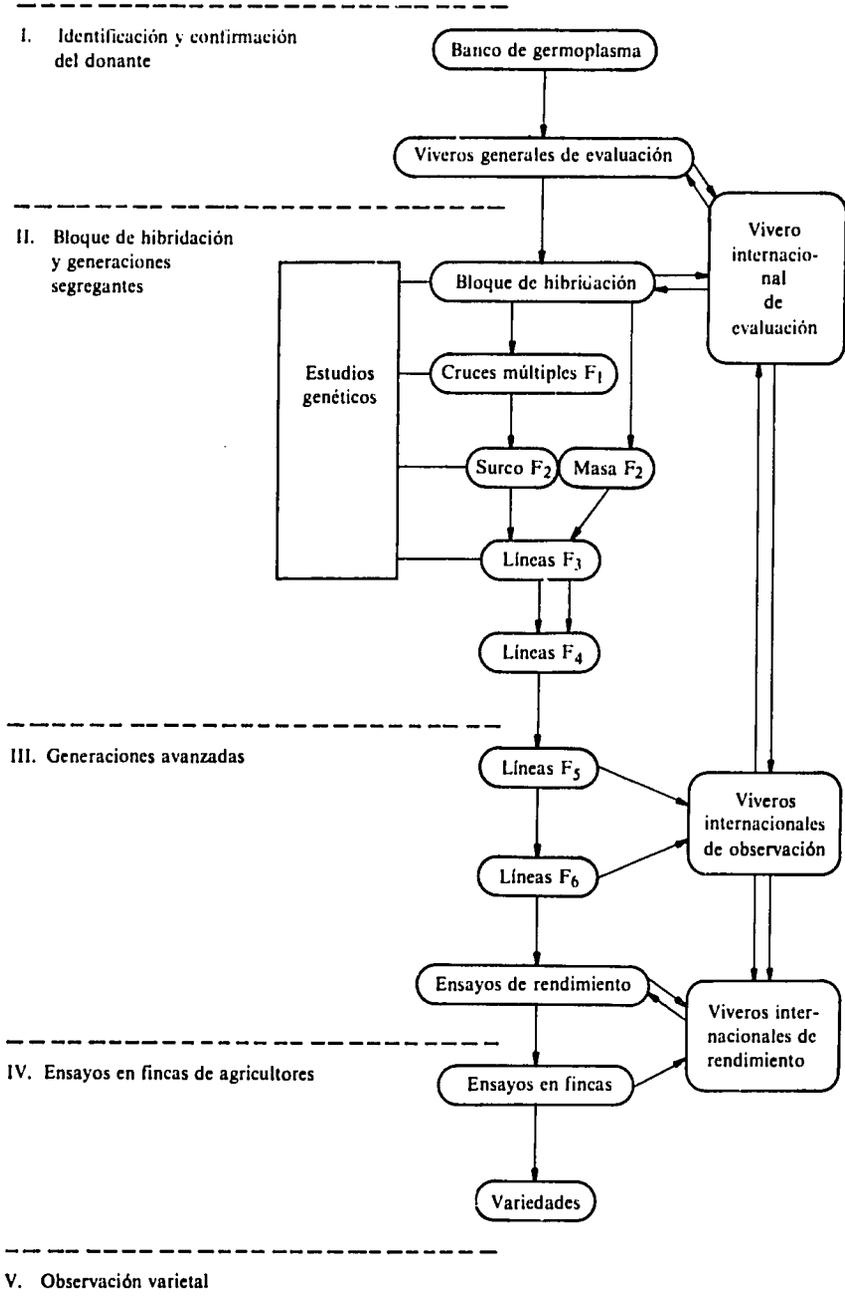
El potencial humano y los recursos son limitados en la mayoría de los programas de mejoramiento de arroz. En tales circunstancias, los científicos deberán identificar los problemas principales y concentrar en ellos su trabajo sobre resistencia, ya que es mejor solucionar pocos

problemas de plagas que trabajar con muchos y no solucionar ninguno. A continuación se indican algunos criterios que se deberán tener presentes para seleccionar las plagas que deben recibir prioridad y para implantar procedimientos operativos.

1. Dar prioridad al desarrollo de variedades resistentes a aquellas plagas que usualmente causan las pérdidas más altas en las fincas.
2. Concentrarse en aquellas plagas con las mejores perspectivas de identificación y transferencia de resistencia estable a los materiales mejorados. La utilización de material con herencia monogénica y de procedimientos de selección sencillos y rápidos acelera el desarrollo de material resistente, pero la estabilidad de la resistencia es a menudo de corta duración. Por lo tanto, los esfuerzos deben concentrarse, cuando sea posible, en la resistencia multigénica.
3. Trabajar en aquellos problemas en los cuales se pueden utilizar más ventajosamente los recursos disponibles, tales como personal científico, tierra, invernaderos, casas de malla, y condiciones ambientales favorables para plagas específicas. Si las condiciones no son adecuadas para evaluación por resistencia a los principales problemas, se debe considerar la posibilidad de establecer nuevas estaciones en áreas epifíticas, construir nuevos invernaderos, o seleccionar el material en cooperación con otros programas o a través del IRTP.

### **Programa extensivo de evaluación**

El programa extensivo de selección del IRRI para el añublo bacterial ilustra la importancia de una evaluación sistemática (Fig. 1). El primer paso en la evaluación es identificar y confirmar la resistencia de los donantes del banco de germoplasma y de los viveros internacionales de selección. A medida que llegan nuevas fuentes al programa, se debe evaluar y confirmar la estabilidad de su resistencia por medio de pruebas locales continuas en el bloque de hibridación y en el vivero general del añublo bacterial, así como también a través de pruebas en diversas localidades de la red del IRTP. Como la cantidad de semilla de las líneas del banco de germoplasma es limitada, la evaluación debe ser eficiente. La semilla de las variedades resistentes debe multiplicarse simultáneamente para futuras pruebas. Las variaciones extremas en el tipo de planta, duración y sensibilidad fotoperiódica afectan a menudo los resultados de la evaluación; por lo tanto, éstos deben interpretarse cuidadosamente.



<sup>1</sup> Programa extensivo de evaluación para el añublo bacterial en el IRRI.

La importancia de probar poblaciones segregantes es enorme. La mitad de las plantas se pueden descartar mediante pruebas de poblaciones  $F_1$  de cruces triples o múltiples, en las cuales uno de los padres posee un solo gen dominante para resistencia. En los cruzamientos simples en los cuales un progenitor tiene resistencia a una enfermedad, se prueban todas las plantas empezando con la población  $F_2$  y continuando a través de las generaciones genealógicas o de pedigrí. Para el añublo bacterial, esto puede usualmente hacerse desde muy temprano porque la técnica sencilla de inoculación permite evaluar todas las plantas en la parcela experimental. Esta fase de la evaluación también incluye estudios genéticos y alélicos de los progenitores resistentes.

Debido a que la mayoría de líneas avanzadas son puras para resistencia, únicamente se deben inocular pocas plantas por cada familia o parcela de rendimiento. Aquellas familias que segregan por resistencia se purifican en surcos. A pesar de la rigurosa presión de selección en las generaciones precedentes, algunas líneas no llegan a ser homocigotas para resistencia al añublo bacterial, incluso en las generaciones  $F_6$  o  $F_7$ . Por lo tanto, no es de sorprenderse que programas cuya presión de selección es poco rigurosa lancen variedades sin homocigosis para muchos caracteres.

La evaluación en numerosas localidades mediante infecciones naturales e inoculaciones artificiales en fincas son de suma importancia para los materiales que han sido avanzados a los ensayos nacionales y regionales. Estas pruebas, además de demostrar como reaccionan los materiales bajo condiciones de finca y contra diferentes cepas bacterianas, confirman o contradicen la confiabilidad de la selección en la estación experimental.

El quinto y último componente del programa de evaluación del añublo bacterial es la supervisión continua de las variedades en las fincas y estaciones experimentales de un país y en otros países escogidos para ese fin. De esta manera se obtiene información sobre la estabilidad de variedades resistentes en un sinnúmero de áreas y se identifican los tipos de resistencia que se deben utilizar en las futuras variedades.

La evaluación es a menudo menos amplia en los programas más pequeños de mejoramiento de arroz que en los programas grandes, pero todos los programas deben ejercer una presión de selección rígida en tanto material cuanto sea posible.

### **Coordinación de evaluación y mejoramiento**

Aunque el programa extensivo de mejoramiento y evaluación del IRRI por resistencia a enfermedades e insectos es de más alcance que la mayoría, puede servir para ilustrar la importancia de una coordinación efectiva.

En el IRRI se evalúan sistemáticamente las 50,000 introducciones del banco de germoplasma, por resistencia a cinco enfermedades, cinco insectos, y varios problemas del suelo. Más de 20,000 introducciones ya han sido probadas por su reacción a enfermedades tales como añublo bacterial y piricularia, y unas cuantas por su reacción a enfermedades como añublo de la vaina que requieren procedimientos complejos.

El enlace importante entre la evaluación de progenitores y el desarrollo varietal es la transferencia rápida y eficiente de las nuevas fuentes de resistencia al material de mejoramiento. Tan pronto como se identifica una nueva fuente de resistencia, se hacen numerosos cruzamientos para incorporar los genes en líneas promisorias con diversas bases genéticas. Las progenies se evalúan a continuación contra una gama de enfermedades e insectos.

La evaluación de los diversos problemas empieza en diferentes generaciones, según los procedimientos de selección. La evaluación por resistencia al añublo bacterial, al saltahoja café, y al virus enanismo comienza en las poblaciones  $F_1$  de muchos cruzamientos múltiples. Para el virus tungro, la selección empieza en la  $F_2$  y para piricularia y saltahoja verdes, en la  $F_3$ . La Figura 2 muestra plantas  $F_2$  segregando por resistencia al añublo bacterial y al virus tungro. La mayoría de los materiales genealógicos y de pedigrí se cultivan sin protección comenzando en la  $F_2$ , con el objeto de exponerlos a las presiones naturales de enfermedades tales como cercosporiosis y rayado bacterial de la hoja, y a infestaciones de insectos tales como minador de la hoja (*Hydrellia* sp.), enrolladores de las hojas y barrenadores del tallo. Todas las líneas altamente susceptibles se descartan.



2 Plantas  $F_2$  en pruebas de selección simultáneas por su reacción al añublo bacterial y al virus tungro.

Algunas poblaciones  $F_2$ , así como las mejores líneas, se distribuyen internacionalmente para que otros programas de mejoramiento de arroz puedan usar los materiales resistentes, ya sea en poblaciones segregantes o como líneas puras. La resistencia que ha sido transferida a plantas de tipo mejorado es más fácil de usar como nuevas fuentes parentales que aquella de progenitores originales no mejorados.

La presión intensa de enfermedades continuamente aplicada a varias generaciones puede dar resultados inesperados, e incluso inexplicables, en cuanto a la expresión de la resistencia. Dos claros ejemplos de esta situación ocurrieron en el programa nacional colombiano entre 1958 y 1967 cuando la resistencia al virus hoja blanca era el objetivo primordial. Se cruzaron unas cuantas introducciones moderadamente resistentes con material altamente susceptible. Cada generación de la población segregante se expuso a epifitias violentas del virus, a fin de ejercer una fuerte presión de selección para los segregantes menos afectados. Aunque ningún cruzamiento simple incluyó más de un padre moderadamente resistente, en pocos años se seleccionaron varias líneas puras que eran considerablemente más resistentes que cualquiera de los progenitores originales.

Mientras se efectuaba este trabajo, las parcelas experimentales fueron afectadas por un problema desconocido del suelo (diagnosticado algunos años más tarde como deficiencia de zinc), que dañó la mayoría de las siembras en algún grado. Las plantas que sufrieron menos se seleccionaron en cada siembra y varias se combinaron en cruces continuos. Las selecciones finales resultaron altamente resistentes al virus hoja blanca y a la deficiencia de zinc. El aspecto sorprendente es que las progenies que fueron altamente resistentes a la deficiencia de zinc tenían progenitores moderada a altamente susceptibles. Parece ser que los inter cruzamientos repetidos de las mejores progenies y la presión intensa de selección ocasionaron una rápida acumulación de muchos genes, cada uno de los cuales confirió pequeños incrementos de tolerancia.

Es importante que cada programa evalúe las colecciones de germoplasma nacionales y locales. Los progenitores resistentes de tales colecciones frecuentemente tienen caracteres deseables a nivel local, como calidad específica del grano o tolerancia a problemas edáficos. Además el germoplasma local sirve frecuentemente como buena fuente de resistencia a ciertas razas, tipos o biotipos de plagas. No obstante, puede ser conveniente que los programas pequeños, que no pueden hacer muchos cruces complejos, introduzcan algunas fuentes de resistencia de poblaciones segregantes de materiales exóticos disponibles en los programas más grandes.

En resumen, es de vital importancia que los científicos en cada programa se concentren en las principales enfermedades y plagas y que los patólogos y entomólogos desarrollen programas amplios para cada problema. El fitomejorador debe integrar estos elementos en programas efectivos a fin de producir las diversas variedades que necesitan los productores de arroz en el mundo.

## **Piricularia**

La piricularia es la enfermedad del arroz más ampliamente distribuida y su organismo causal, *Piricularia oryzae*, es el patógeno más variable. El desarrollo de variedades con resistencia estable a piricularia es un problema de mejoramiento extremadamente difícil. De ahí que se requiera la cooperación internacional para poder controlar con éxito esta enfermedad.

El método de selección del vivero uniforme de piricularia, usado en el Vivero Internacional de Piricularia (IRBN), es altamente eficiente para identificar progenitores y líneas mejoradas con resistencia vertical. A través del IRBN, las plantas se pueden evaluar rápida y continuamente para determinar la estabilidad de la resistencia contra muchas razas de piricularia de todo el mundo.

La técnica del vivero de piricularia no sólo es rápida, confiable, y económica sino que ofrece la ventaja de que las progenies resistentes se pueden arrancar y transplantar al campo después de la evaluación. Esta técnica es útil para cualquier enfoque de mejoramiento que involucre genes mayores. Probablemente no es confiable para la identificación de la resistencia horizontal.

En general, las reacciones de plántulas basadas en genes mayores caen en dos categorías amplias. Las líneas son ya sea altamente resistentes (valores 1 ó 2 de la escala) o altamente susceptibles (valores 6-9). Algunas líneas inicialmente evaluadas como altamente resistentes reciben un puntaje de 4 cuando muestran unas pocas lesiones típicas alargadas. En el CIAT esto significa que la resistencia se ha perdido, ya que en las pruebas continuadas estas líneas dan normalmente una reacción altamente susceptible.

Debido a que la piricularia del cuello reduce considerablemente el rendimiento y a que la resistencia en los estados de plántula y cuello de panícula puede diferir para ciertas variedades, las líneas y variedades mejoradas deben someterse periódicamente a pruebas de selección en ambos estados.

Por el momento no existe un procedimiento satisfactorio para evaluar la piricularia en el cuello, fuera de sembrar los materiales en áreas en donde este estado de la enfermedad es severo todos los años. La cooperación con los fitopatólogos es necesaria a fin de desarrollar sistemas agronómicos que permitan inducir una buena infección de piricularia en el cuello. Las parcelas de secano, los suelos ácidos y la fertilización nitrogenada contribuyen al desarrollo de la piricularia en el cuello.

Algunas variedades que han demostrado ser altamente resistentes en repetidas pruebas del IRBN en muchas localidades del mundo son Tetep, Tadukan, Carreon, Dissi Hatif, C46-15 y Colombia 1. Estos arroces han sido cruzados numerosas veces con variedades enanas comerciales. Algunas progenies que han mostrado resistencia de amplio espectro se están usando extensivamente como progenitores en varios programas de mejoramiento. Dichas progenies combinan bien y poseen otros atributos favorables, aunque no todas tienen la totalidad de genes de resistencia de los progenitores.

La genética de la resistencia a la piricularia ha sido estudiada en varios países. Los científicos han identificado más de una docena de genes de resistencia, pero la pertinencia de la información es discutible porque el hongo es demasiado variable.

Dondequiera que la piricularia sea un problema grave, todos los programas de mejoramiento, sin importar su tamaño, deberían tener un vivero uniforme de piricularia para evaluar continuamente los progenitores y progenies empezando con las generaciones segregantes. Sin embargo, los resultados de las pruebas de campo son más confiables que los de los ensayos en invernadero. Los cuatro enfoques siguientes de mejoramiento se pueden emplear para incorporar resistencia a la piricularia en las variedades futuras:

1. **Resistencia diversa de una sola fuente.** Los progenitores individuales de resistencia de amplio espectro, tales como Tetep, pueden cruzarse con variedades y líneas mejoradas sobresalientes ya sea una o varias veces. Una presión de selección continua y rigurosa permitirá identificar las variedades con resistencia adecuada para áreas como los deltas de ríos asiáticos donde la piricularia no es tan fuerte. No obstante, este enfoque no ha dado buenos resultados cuando se trata de recombinar resistencia estable con alto rendimiento para áreas epidémicas de un alto potencial de productividad en los trópicos.
2. **Resistencia piramidal.** Los centros internacionales y los grandes programas nacionales pueden intercruzar diversas variedades

resistentes a piricularia con el propósito de combinar las  $F_1$  entre sí y con otras progenies enanas de donantes resistentes a piricularia. Gracias a la selección rigurosa de las progenies en generaciones tempranas se podrán identificar prontamente los segregantes resistentes. Una limitación importante es que no se dispone de una técnica para determinar si las líneas resistentes portan genes de uno, dos o más progenitores.

Las mejores progenies se pueden compartir con los científicos arroceros de todo el mundo a través del IRBN o por medio del intercambio regional. La evaluación a nivel mundial permitiría identificar progenies que tengan resistencia de amplio espectro en combinación con adaptabilidad regional y local.

3. **Resistencia horizontal.** Este tipo de resistencia reduce la tasa de diseminación de la enfermedad en una variedad. Aunque la enfermedad no desaparece por completo, ésta no llega a los niveles que causan pérdidas apreciables en el rendimiento. La resistencia horizontal parece ser poligénica y se expresa en plantas adultas pero no en plántulas. Varias fuentes de resistencia a piricularia, incluyendo las variedades de Surinam, líneas del IRAT y variedades nativas, aparentemente tienen este tipo de resistencia. Se considera que esta resistencia es heredable y puede aumentarse por medio del inter cruzamiento de diversas fuentes, y que es estable por mucho tiempo. Poco se conoce acerca de su comportamiento de mejoramiento, su expresión en la presencia de genes de resistencia vertical, su utilidad bajo altos niveles de fertilizante, o su expresión en las panículas de arroz. Estos puntos y el manejo de las poblaciones para inducir una presión apropiada de la enfermedad que permita distinguir los segregantes horizontalmente resistentes, deben ser estudiados más a fondo. A pesar de que aún falta mucha información, la resistencia horizontal puede representar el mejor enfoque para el manejo de la piricularia.
  
4. **Multilíneas modificadas.** Es necesario que los grandes programas de fitomejoramiento trabajen conjuntamente en el desarrollo de multilíneas. Los fitomejoradores deberían cruzar variedades mejoradas ampliamente adaptadas con muchas fuentes de amplia resistencia, retrocruzar la  $F_1$  una o dos veces a las variedades ampliamente adaptadas, y avanzar las progenies resistentes a través de las generaciones segregantes seleccionando al mismo tiempo por el fenotipo de los padres recurrentes. Los programas nacionales pueden encargarse de las pruebas a nivel internacional de las líneas

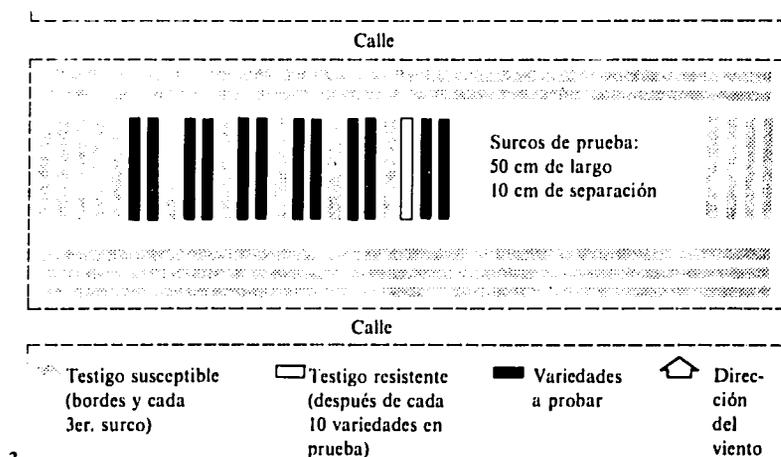
fenotípicamente similares con diferentes genes para resistencia. Las líneas similares bien adaptadas a las condiciones locales de cultivo se pueden mezclar para ensayos de rendimiento.

La Figura 3 muestra el diseño de la prueba del vivero uniforme de piricularia. Los materiales y procedimientos que se requieren son:

- Parcela de secano con buen suelo,
- Fertilizante (NPK),
- un sistema de irrigación (preferiblemente aspersores indirectos),
- azadón, rastrillo y otras herramientas para preparar el suelo,
- estacas (de bambú o madera de dos tamaños: 1 m y 30 cm de largo),
- insecticidas (carbofurán o BHC granulado, si están disponibles),
- cebo para ratas, y
- variedades de prueba, y testigos resistentes y susceptibles.

Artículos auxiliares:

- un marco de madera para demarcar los surcos, y
- una cubierta de polietileno y soportes para usarla cuando el tiempo es seco.



3 *Diseño de un vivero uniforme de piricularia.*

### Procedimiento de evaluación para la resistencia a piricularia

Pasos	Puntos clave
1 Selección del área	La tierra debe ser uniformemente fértil, protegida contra la luz solar directa durante parte del día, y con buena protección contra el viento.

**Procedimiento de evaluación para la resistencia a piricularia (continuación)**

Pasos	Puntos clave
<b>2</b> Época de siembra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El hongo se desarrolla mejor a temperaturas frescas (20 a 24°C, temperatura nocturna), y en hojas húmedas por un período largo (más de 11 horas). Para muchos sitios, la mejor época es la estación lluviosa, más o menos un mes después de iniciada la época normal de siembra del arroz.</li> <li>- Las pruebas efectuadas durante estaciones calientes y secas requieren modificaciones de la humedad relativa y de la duración del período de rocío para inducir la infección. Las parcelas fuente de inóculo también deben sembrarse de dos a tres semanas antes de la siembra del vivero para aumentar el inóculo. Las cubiertas de polietileno y los aspersores se necesitan para mantener la humedad de las hojas por largos períodos de tiempo.</li> </ul>
<b>3</b> Preparación de la tierra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseñe y prepare los semilleros (de 1,2 m de ancho y de una longitud conveniente). Deje calles estrechas entre los semilleros.</li> </ul>
<b>4</b> Aplicación de fertilizantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplique abundante nitrógeno (60 kg/ha de N o más), y otros nutrimentos que se requieran antes de sembrar.</li> <li>- Quince días después de la siembra, aplique 60 kg/ha de N en cobertura.</li> </ul>
<b>5</b> Preparación para la siembra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Del lado por donde sopla el viento, prepare tres surcos de borde paralelos a la mayor longitud del semillero (a 10 cm de distancia), y dos surcos del otro lado del semillero para la variedad susceptible, fuente de inóculo (Fig. 3).</li> <li>- Prepare surcos de 50 cm de largo, perpendiculares a los surcos de borde para los materiales que se van a probar.</li> </ul>

**Procedimiento de evaluación para la resistencia a piricularia (continuación)**

Pasos	Puntos clave
<b>6</b> Siembra del vivero	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Siembre 5 g de semilla de cada introducción en los surcos, de acuerdo con el diseño que se muestra en la Figura 3.</li> <li>- Siembre los surcos de borde densa y uniformemente.</li> <li>- Cubra la semilla con tierra fina y aplique agua.</li> </ul>
<b>7</b> Manejo del vivero	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manténgalo libre de malezas.</li> <li>- Aplique insecticidas y carnada para ratas cuando sea necesario.</li> <li>- Si no hay lluvia, riegue la parcela dos o tres veces diariamente. El riego en la tarde es importante para mantener una humedad alta y largos periodos de rocío en la noche.</li> </ul>
<b>8</b> Incremento de la producción de esporas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esto puede ser necesario solamente durante estaciones secas y ventosas, o durante periodos de lluvias muy fuertes.</li> <li>- Para incrementar el inóculo, siembre una variedad susceptible dos a tres semanas antes del vivero de prueba.</li> <li>- Recoja hojas infectadas de piricularia, córtelas en pedazos (3-5 cm) y espárzalas sobre las parcelas de prueba.</li> <li>- Cubra las parcelas con polietileno todos los días al atardecer. Sostenga las cubiertas con estacas de bambú y déjelas puestas hasta las 9 a.m. del día siguiente.</li> </ul>
<b>9</b> Clasificación del vivero	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La infección del testigo susceptible debe ser severa antes de que se asignen los puntajes de clasificación (Fig. 4). La mejor época es usualmente 25 a 35 días después de la siembra, pero la clasificación deberá postergarse si los testigos susceptibles no están completamente infectados.</li> <li>- Use la escala de 1-9 del Sistema de Evaluación Estándar para Arroz.</li> </ul>

**Procedimiento de evaluación para la resistencia a piricularia (continuación)**

Pasos	Puntos clave
<p><b>10</b> Clasificación de la infección en el cuello</p>	<p>- Si hay agua disponible y el vivero se sembró en la estación apropiada, haga un raleo de plantas y añada fertilizante. Aplique el riego necesario para que las plantas maduren y la infección del cuello pueda ser evaluada.</p>



4 *Clasificación de líneas de mejoramiento en el vivero uniforme de piricularia.*

**Añublo de la vaina**

El organismo causal del añublo de la vaina, *Rhizoctonia solani*, es el estado imperfecto de *Thanatephorus cucumeris*, el cual tiene numerosos

hospedantes. El hecho de que el arroz no sea altamente resistente al añublo de la vaina puede explicarse por el principio general que gobierna las relaciones entre enfermedades, según el cual es poco usual encontrar resistencia varietal fuerte a patógenos con amplio rango de hospedantes. El añublo de la vaina es potencialmente importante en todas las regiones tropicales del mundo.

Se han desarrollado varios procedimientos para probar las reacciones varietales al añublo de la vaina. El método más común en Asia es cultivar el hongo en la cáscara del arroz, y luego colocar los esclerocios ya sea en los verticilos foliares o adherirlos al tallo. La respuesta varietal se mide por la longitud de la lesión en determinado momento después de la inoculación. Se ha encontrado algún grado de resistencia pero ésta no ha sido fuerte. El tipo de planta, la humedad relativa y la cantidad de nitrógeno aplicado influyen en la longitud de la lesión y su subsecuente diseminación a las hojas.

Un método de selección de campo desarrollado en Louisiana, Estados Unidos, que consiste en colocar numerosos esclerocios en la superficie del suelo donde la enfermedad se desarrolla naturalmente, ha dado resultados promisorios. Por medio de esta inoculación natural se han identificado algunas líneas tolerantes.

Aunque unas pocas variedades asiáticas tienen resistencia moderada al añublo de la vaina, ésta no ha sido transferida a las variedades enanas. Sin embargo, algunas variedades de porte intermedio tienen cierto grado de resistencia.

Para aprovechar mejor dichos niveles moderados de resistencia los patólogos y fitomejoradores deben:

1. Mejorar los métodos de selección para identificar más efectiva y eficientemente las variedades con resistencia intermedia;
2. intensificar la búsqueda de nuevas y mejores variedades resistentes en la colección mundial y en los bancos nacionales de germoplasma; y
3. usar cruces múltiples para combinar y agrupar en pirámide las fuentes de resistencia.

Para selección por resistencia al añublo de la vaina se requieren esclerocios de *Rhizoctonia solani*.

**Procedimiento de evaluación para la resistencia al añublo de la vaina.**

Pasos	Puntos clave
<b>1</b> Preparación del inóculo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cultive el aislamiento más virulento durante dos semanas ya sea en granos de arroz descascarado, tratado en autoclave, o en pedazos de paja de arroz de 10 cm de largo.</li> </ul>
<b>2</b> Manejo de la parcela.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Siembre las variedades de prueba en surcos o parcelas pequeñas. Las parcelas pequeñas son más convenientes para medir el desarrollo de enfermedades secundarias.</li> <li>- Agregue altas dosis de nitrógeno, potasio y fósforo para estimular un crecimiento frondoso de la planta.</li> </ul>
<b>3</b> Inoculación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inocule cada variedad un mes antes de la floración.</li> <li>- Coloque el inóculo cultivado en los granos en el centro de cada planta o inserte tres pedazos de la paja de arroz entre las macollas de cada planta.</li> </ul>
<b>4</b> Clasificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La longitud y tamaño de la lesión debe clasificarse con base en el Sistema de Evaluación Estándar para Arroz.</li> <li>- Si se presenta una infección secundaria, registre la cantidad.</li> </ul>

**Añublo bacterial**

Las prácticas mejoradas del cultivo del arroz usadas en años recientes, tales como altas dosis de nitrógeno, densidades altas y cosechas continuas, han contribuido a aumentar la incidencia del añublo bacterial en las zonas templadas y tropicales de Asia. La enfermedad se ha observado y aislado en malezas en plantas de arroz en América Latina, pero no es por el momento un problema de importancia económica. Como las medidas de control químico no son prácticas, deben usarse variedades resistentes para minimizar las pérdidas.

El desarrollo del método de inoculación por corte ha ayudado a los científicos a identificar los donantes resistentes y a evaluar las progenies. En la mayoría de los países, este método ha permitido identificar con claridad las variedades resistentes al patógeno. Los resultados de la inoculación artificial se correlacionan estrechamente con la resistencia de campo de las variedades con genes mayores de resistencia.

No obstante, la identificación ha sido menos precisa en varios países del sur de Asia, en donde la severidad de *Xanthomonas oryzae* es mayor. Las evaluaciones artificiales rigurosas hacen que la mayoría de las variedades parezcan moderadamente susceptibles, a pesar de que pueden ser resistentes en el campo, razón por la cual se deben usar aislamientos apropiados en estas localidades. Además, el método de corte tampoco permite identificar fácilmente las variedades con niveles intermedios de resistencia, siendo necesario recurrir a la selección natural en el campo.

La virulencia del patógeno del añublo bacterial varía considerablemente en Asia. Los aislamientos del sur de Asia son más virulentos, y los del este no lo son tanto. Se han identificado tres tipos en las Filipinas, pero el tipo más común es el responsable de casi todas las infestaciones naturales. La resistencia genética de las variedades enanas mejoradas ha sido muy efectiva contra este patógeno en las Filipinas y otros países del Sudeste Asiático.

En Japón se identificaron y usaron en programas de mejoramiento en los años cincuenta, tres genes individuales de resistencia: Xa 1, Xa 2 y Xa 3. Pero pocos años después de haber introducido las variedades resistentes, éstas se volvieron susceptibles, debido a la aparición de nuevos tipos virulentos de la bacteria.

En las Filipinas se encontró que la resistencia estaba gobernada por genes individuales en tres loci diferentes (Xa 4, xa 5, y Xa 6). El gen dominante Xa 4 ha sido utilizado ampliamente. En los últimos cinco años, se han cultivado variedades con el gen Xa 4 en un 30 a 50% del área arroceras de las Filipinas, reduciendo drásticamente la incidencia del añublo bacterial. No obstante, recientemente se han identificado varios aislamientos de *X. oryzae* que son virulentos en las variedades con el gen Xa 4. Como resultado, actualmente se está usando con mucha frecuencia el gen xa 5, pero hasta el presente (1978) no ha aparecido en ninguna de las variedades distribuidas. El gen Xa 6 no se ha usado ampliamente.

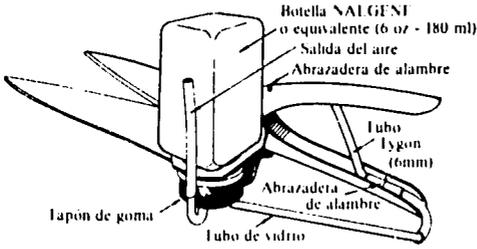
Por medio de la evaluación extensiva de la colección mundial, se han identificado muchas variedades con varios niveles de resistencia a *X. oryzae*. Los estudios alélicos han demostrado que la mayoría de las variedades poseen ya sea el gen Xa 4 o el gen recesivo xa 5. No obstante, hace poco se encontró que la variedad DV85, la cual tiene el gen xa 5 más otro gen dominante diferente del Xa 4, es resistente a todos los aislamientos disponibles de la bacteria.

La siguiente es una estrategia efectiva para controlar genéticamente el añublo bacterial:

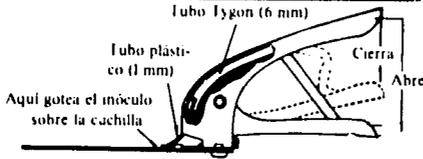
1. Continúe la selección sistemática de las introducciones del banco de germoplasma en búsqueda de nuevas variedades resistentes y analice y clasifique genéticamente las nuevas fuentes.
2. Inicie programas amplios de evaluación y cruzamiento para incorporar rápidamente la resistencia en el material de mejoramiento de todos los programas asiáticos. En áreas donde se dispone de genes individuales para resistencia, éstos deberán incorporarse a un sinnúmero de variedades.
3. Mejore la metodología de evaluación para identificar y utilizar niveles intermedios de resistencia.
4. Agrupe en pirámide los genes individuales de resistencia en una gama de variedades, a fin de suministrar resistencia de amplio espectro a muchos tipos del patógeno.

El método de corte se emplea comúnmente para seleccionar por resistencia al añublo bacterial. La Figura 5 ilustra las partes de un cortador para inoculación y la Figura 6 describe los pasos del método de corte. A continuación se enumeran los materiales necesarios:

- Inóculo de un cultivo puro  
agar (Wakimoto o sacarosa de peptona), y  
cultivo de *X. oryzae* de tres a cuatro días de edad.
- Inóculo de extracto foliar  
una cubeta,  
hojas con lesiones frescas de añublo bacterial tomadas de un área cercana, y  
agua corriente.
- Un par de tijeras o un cortador para inoculación.



El cortador es de modelo "Golden Saboten" o equivalente.



Corte en el campo

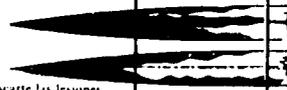
5 Cortador para inocular el añublo bacterial.

CULTIVO PURO - fuente de inóculo

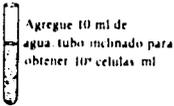


Cultivo de *V. oryzae* de 48 horas

EXTRACCIÓN DE HOJAS - fuente de inóculo.

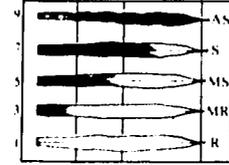


Descarte las lesiones viejas de color café con pequeñas manchas negras. Use lesiones juveniles verdes.



Agregue 10 ml de agua. tubo inclinado para obtener 10<sup>8</sup> células/ml

Desarrollo de la lesión



Use este cuadro 14 días después de la inoculación o cuando la lesión llegue a la vaina de la variedad susceptible

Corte las hojas enfermas en pedazos pequeños (2 mm o menos)



Agregue suficiente agua para cubrir las hojas



Sumerja las tijeras en la suspensión

Sostenga las hojas de la planta con la mano y corte 2-8 cm de la parte superior de las hojas



Después de remojar por 10 a 20 minutos, sumerja las tijeras en la suspensión para que la solución impregne las hojas de las tijeras. Complete la inoculación en las dos o tres horas siguientes a la preparación de la suspensión

Sumerja las tijeras en la suspensión después de inocular cada cinco plantas o 100 hojas. El macollamiento máximo es el mejor momento para la inoculación ya que se pueden cortar de 30 a 40 hojas simultáneamente.

6 Método de corte para la inoculación del añublo bacterial.

**Procedimiento de evaluación para la resistencia al añublo bacterial**

Pasos	Puntos clave
<b>1</b> Preparación del inóculo a partir de cultivos puros en un medio con Wakimoto o en sacarosa de peptona	<p data-bbox="459 340 649 376"><i>Platos con agar</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="459 376 985 474">- Esparza uniformemente dos porciones de los cultivos puros de tres a cuatro días de edad sobre platos con agar.</li> <li data-bbox="459 474 985 537">- Incube los platos invertidos por tres o cuatro días a 28°C.</li> <li data-bbox="459 537 985 770">- Vierta 10 ml de agua en cada plato no contaminado y raspe la bacteria desarrollada con el extremo de un portaobjeto. Suspenda la bacteria de cada plato en poco más o menos 100 ml de agua para producir una población de alrededor 10<sup>8</sup> células/ml.</li> </ul> <p data-bbox="459 833 985 896"><i>Botellas de dos litros de capacidad con 10 ml de medio solidificado</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="459 896 985 994">- Vierta 10 ml de agua esterilizada sobre cultivos de tres a cuatro días de edad que estén en tubos inclinados.</li> <li data-bbox="459 994 985 1093">- Raspe la masa de bacterias con un anillo de alambre esterilizado y homogenice la suspensión agitándola.</li> <li data-bbox="459 1093 985 1191">- Vierta la suspensión bacterial en una botella y distribuya el inóculo uniformemente en la superficie de agar.</li> <li data-bbox="459 1191 985 1379">- Después de tres a cuatro días de incubación a 28°C, vierta un litro de agua en la botella y agítela bien para remover la masa bacterial de la superficie del agar. La suspensión resultante tendrá alrededor de 10<sup>8</sup> a 10<sup>9</sup> células/ml.</li> </ul>

Para algunas localidades los cultivos líquidos pueden ser más convenientes que los medios sólidos. De ser así, siga los procedimientos estándar.

**Procedimiento de evaluación para la resistencia al añublo bacterial (continuación)**

Pasos	Puntos clave
<b>2</b> Preparación del inóculo <sup>1</sup> a partir de hojas infectadas (Fig. 7).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seleccione hojas infectadas con lesiones recientes, de color verde claro. Descarte el área con lesiones viejas, café.</li> <li>- Corte las hojas enfermas en pedazos pequeños de 3 mm o menos.</li> <li>- Coloque las hojas cortadas en un vaso de precipitados y vierta suficiente agua para cubrirlas.</li> <li>- Remoje las hojas durante 20 minutos y sáquelas. La suspensión resultante está lista para usarse. El inóculo debe usarse dentro de las dos horas siguientes a la preparación, ya que <i>X. oryzae</i> pierde rápidamente su viabilidad.</li> </ul>
<b>3</b> Inoculación	<p><i>Con cortador para inoculación</i> (Fig. 5).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coloque 150 ml del inóculo en la botella del inoculador.</li> <li>- Con una mano, sujete la mayor parte de las hojas de la planta y corte los 5 cm superiores de las hojas.</li> <li>- La suspensión bacteriana debe gotear sobre las cuchillas del cortador cuando éstas estén abiertas. Para evitar pérdida del inóculo, el goteo debe cesar cuando se cierra el cortador. Ajuste el mecanismo de goteo para que haya un flujo adecuado.</li> <li>- Las mejores plantas para inocular en el campo son las que están totalmente macolladas (Fig. 8). Inocule por lo menos cinco plantas por introducción.</li> </ul> <p><i>Con tijeras corrientes</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sumerja las tijeras en el inóculo y corte los ápices de las hojas de una planta.</li> </ul>

<sup>1</sup> El inóculo de extracto de hojas sólo produce infecciones moderadas, mientras que los cultivos puros producen infecciones más uniformes y la enfermedad se desarrolla más rápidamente. Por lo tanto, el extracto de hojas debe usarse únicamente donde no hay facilidades para hacer cultivos de inóculo puro.



7

*Preparación del móculo del extracto de hojas para la inoculación del añublo bacterial.*

- a- Seleccione hojas enfermas.*
- b- descarte las áreas con lesiones viejas de color café y use las que tienen lesiones jóvenes de color verde claro.*
- c- corte las hojas con lesiones verde claro en secciones pequeñas y échelas en un vaso de precipitados.*
- d- remoje por 20 minutos y luego use la suspensión.*

**Procedimiento de evaluación para la resistencia al añublo bacterial (continuación)**

Pasos	Puntos clave
<b>3</b> Inoculación (continuación)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Vuelva a introducir las tijeras en la suspensión antes de inocular la planta siguiente.</li></ul>
<b>4</b> Clasificación	<ul style="list-style-type: none"><li>- Clasifique la mayoría de las hojas inoculadas de cada planta 14 días después de la inoculación (Fig. 6). La reacción a la enfermedad se basa en el desarrollo de las lesiones. Una apreciación visual rápida de la longitud promedio es usualmente adecuada.</li><li>- Observe cuidadosamente la segregación entre las plantas, ya que ésta es fácil de identificar.</li><li>- Use la escala descriptiva del Sistema de Evaluación Estándar para Arroz.</li></ul>
<b>5</b> Evaluación de la diseminación secundaria	<ul style="list-style-type: none"><li>- Durante la estación lluviosa hay una diseminación secundaria de la enfermedad de las plantas inoculadas a las vecinas (Fig. 9). Se puede evaluar la cantidad de enfermedad y la distancia de la diseminación secundaria. Algunas variedades presentan una reacción susceptible cuando se la inocula mediante el sistema de corte, pero tienen resistencia de campo a la infección secundaria.</li></ul>



8 *Trabajadores de campo inoculando miles de líneas pedigri.*



9 La variedad del centro muestra alto brote secundario del añublo bacterial proveniente de un surco de borde que fue inoculado artificialmente con *X. oryzae*.

## Virus tungro

La enfermedad viral tungro ha adquirido importancia económica en Asia tropical desde que se identificó por primera vez hace menos de 15 años. Las epidemias en millones de hectáreas de arroz han causado pérdidas sustanciales de la producción en Tailandia, India, Indonesia y las Filipinas. Probablemente otros países presentarán brotes de tungro en el futuro. La situación se ha complicado más debido al reciente descubrimiento de que las razas de la India y del Sudeste Asiático difieren significativamente.

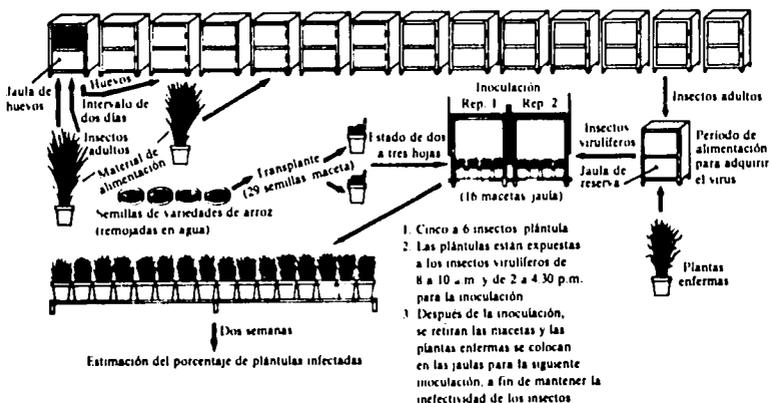
La evaluación del tungro es complicada porque el virus es transmitido por un insecto —el saltahojas verde *Nephotettix virescens*. Sin embargo, en varios países asiáticos se están usando técnicas altamente efectivas para la evaluación en el campo. Los científicos de la India e Indonesia aprovechan las altas incidencias estacionales del vector para estimular las epidemias regulando la época de siembra, introduciendo el virus y manteniendo suficientes plantas susceptibles. En el IRRI, tanto el hospedante como el inóculo se mantienen creciendo continuamente en el campo por medio de siembras de relevo y siembras intercaladas. Las poblaciones del vector son usualmente adecuadas para transmitir el virus, pero algunas veces el enanismo transmitido por el saltahojas café o el nuevo virus del enanismo rugoso predominan, y la evaluación del virus tungro resulta poco confiable.

Se han desarrollado técnicas precisas de evaluación para probar variedades en el invernadero (Fig. 10). Aunque la evaluación de plántulas es rigurosa, tiene varias desventajas. No todos los factores epidemiológicos que contribuyen a la incidencia de la enfermedad en el campo se miden en el estado de plántula. Por ejemplo, la reacción de la plántula frecuentemente difiere de la reacción de la planta adulta, por cuanto la evaluación en el invernadero no mide la habilidad de la planta para recuperarse de la enfermedad ni su reacción a las reinoculaciones repetidas por parte de los insectos virulíferos.

A pesar de que se han identificado muchas variedades resistentes al virus tungro, no se ha determinado la herencia genética de su resistencia. Evidencias del programa de mejoramiento del IRRI muestran que la herencia es relativamente simple, pero estudios llevados a cabo en la India indican que es bastante complicada. Se ha demostrado claramente que la sola resistencia al saltahoja verde no protege a las plantas de la infección del virus; no obstante, las variedades resistentes al insecto sí ayudan a reducir las poblaciones del vector, lo que a su vez disminuye las probabilidades de que se presenten brotes severos del tungro.

Un programa efectivo de mejoramiento genético para la resistencia al tungro requiere:

- Establecer con precisión las diferencias entre las razas del Sudeste Asiático y de la India.
- Determinar la acción génica de resistencia a las dos razas importantes del Sudeste Asiático y la India por medio de estudios genéticos.
- Que todos los programas de mejoramiento utilicen las diferentes fuentes de resistencia.

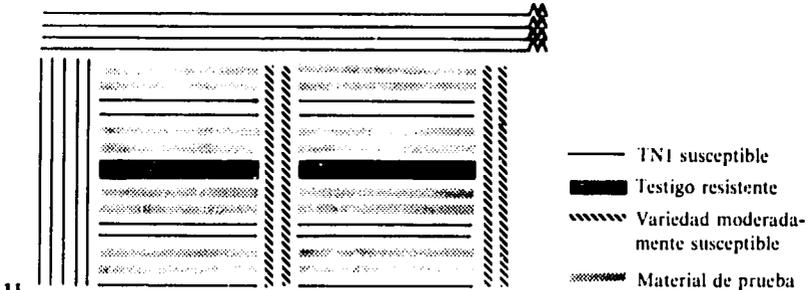


10

*Método mejorado de selección masal para probar la resistencia varietal a la enfermedad tungro.*

Los tres métodos a seguir para evaluar por resistencia al virus tungro son: evaluación estacional en el campo, evaluación continua en el campo, evaluación en el invernadero. La Figura 11 muestra el diseño para la evaluación estacional en el campo que se utiliza en varios países.

Los materiales necesarios son insectos virulíferos, inóculo del virus, jaulas y otros implementos para criar los saltahojas.



11 Diseño de la prueba de evaluación estacional en el campo utilizado en varios países para evaluar resistencia al virus tungro.

### Procedimiento de evaluación para la resistencia al virus tungro.

Pasos	Puntos clave
<i>Evaluación en el campo</i>	
<b>1</b>	
Multiplicación del inóculo	<p><i>Evaluación en una sola estación</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inocule las plántulas de una variedad altamente susceptible como TN1 aproximadamente dos a cuatro semanas antes de transplantarlas al vivero.</li> <li>- Inocule una variedad moderadamente susceptible como IR8 mediante el método de selección masal exactamente antes de sembrar el vivero.</li> </ul> <p><i>Evaluación continua en el campo</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Siembre mensualmente una variedad susceptible en el área del vivero, en el centro del lote.</li> <li>- Haga los semilleros en el centro de las parcelas infectadas con el virus y transplante las plántulas 25 a 30 días después de la siembra (Fig. 12).</li> </ul>

**Procedimiento de evaluación para la resistencia al virus tungro**  
(continuación)

Pasos	Puntos clave
<p><b>2</b> Evaluación</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Siembre introducciones de prueba en dos surcos de por lo menos 2 m cada uno.</li> <li>- Siembre dos surcos de una variedad moderadamente susceptible perpendicularmente a las introducciones de prueba. Las variedades moderadamente susceptibles portarán el inóculo por períodos largos de tiempo sin que éste las mate.</li> <li>- Siembre dos surcos de una variedad susceptible alternándolos con dos surcos de cada introducción de prueba (Fig. 13).</li> <li>- Siembre testigos resistentes después de cada 10 introducciones de prueba.</li> <li>- Aplique niveles moderados de fertilizante, pero no use insecticidas.</li> </ul>
<p><b>3</b> Clasificación</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Use la escala de clasificación del Sistema de Evaluación Estándar para Arroz.</li> <li>- Compare la clasificación de las introducciones de prueba con la de los testigos resistentes.</li> </ul>

*Evaluación en el invernadero*

<p><b>1</b> Preparación de insectos virulíferos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Críe y multiplique los saltahojas verdes.</li> <li>- Asegúrese de que las ninfas se alimenten en plantas enfermas, durante más o menos 11 días antes de la inoculación, para que adquieran el virus.</li> </ul>
<p><b>2</b> Preparación de las plántulas de prueba</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remoje las semillas de arroz en agua.</li> <li>- Transplante o siembre directamente en macetas o cajones.</li> </ul>

### Procedimiento de evaluación para la resistencia al virus tungro (continuación)

Pasos	Puntos clave
3 Inoculación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coloque las plántulas en prueba en jaulas que contengan saltahojas verdes virulíferas.</li> <li>- Sacuda las plántulas, si es necesario, para que se distribuyan uniformemente los insectos.</li> </ul>
4 Clasificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Después de la inoculación, mantenga las plántulas en prueba en el invernadero para que se desarrollen los síntomas.</li> <li>- Más o menos tres semanas después de la inoculación, cuente las plántulas infectadas y no infectadas.</li> <li>- Calcule el porcentaje de plántulas infectadas para determinar la reacción.</li> </ul>



12

*Los semilleros se hacen en el centro de parcelas infestadas para que los insectos virulíferos transmitan el virus tungro a las plántulas.*



13 Variedad resistente al virus tungro entre dos surcos de variedades susceptibles testigo.

### Virus enanismo

La enfermedad del enanismo ha llegado a ser una amenaza para la producción de arroz del Asia tropical en razón de:

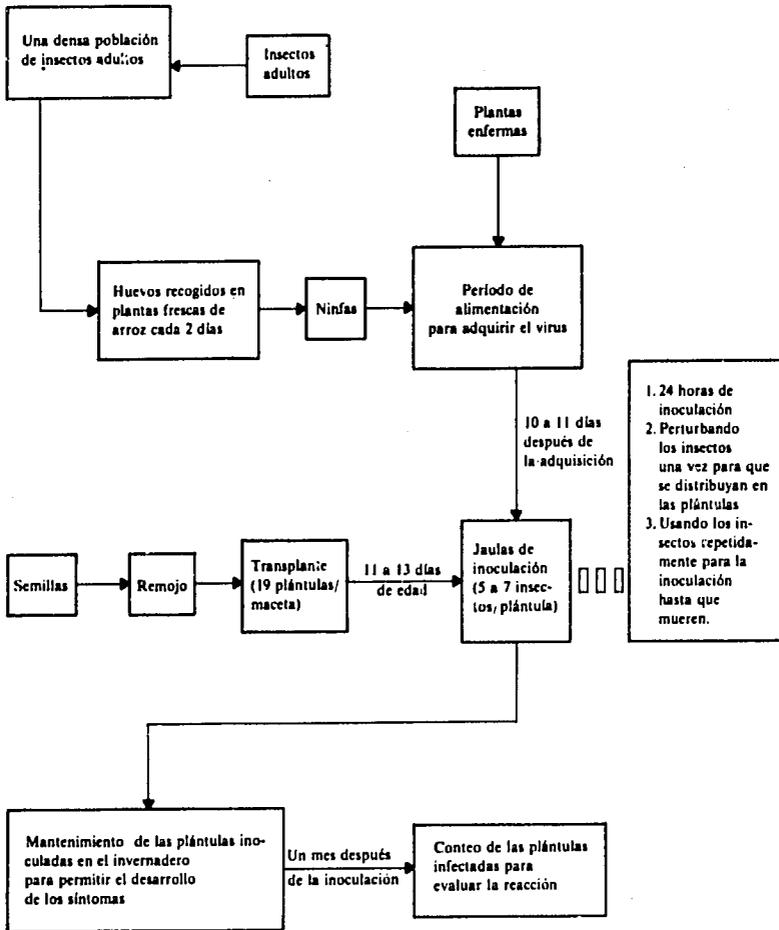
- la amplia distribución de su vector, el saltahojas café (*Nilaparvata lugens*),
- la pérdida elevada de producción de las plantas enfermas, y
- el peligro potencial cuando se depende de una sola fuente de resistencia.

La única fuente de resistencia al enanismo es *O. nivara*, un arroz silvestre de la India. Este gen individual ha sido incorporado en casi todo el material de mejoramiento y se está utilizando en muchos países. Las variedades resistentes son casi inmunes en todos los países. El organismo causal parece

ser un virus, aunque la forma de la partícula no ha sido definida. No hay evidencia de que haya razas diferentes del virus.

Diversas variedades tienen niveles bajos de resistencia en el campo bajo condiciones epidémicas. Dichos arrozces se están evaluando con el objeto de determinar si se les puede incorporar resistencia intermedia y utilizarlas eficazmente.

La selección de plántulas en el invernadero es altamente efectiva para identificar las variedades resistentes con el gen *O. nivara* (Fig. 14). La



correlación de resistencia entre plántulas y plantas adultas es buena. La selección en el campo también es altamente efectiva durante las epidemias, pero las condiciones epidémicas son difíciles de mantener por un período largo de tiempo.

Una estrategia para controlar eficazmente el enanismo debe incluir los siguientes factores:

- La resistencia a *O. nivara* debe usarse en combinación con las diversas fuentes de resistencia al saltahoja café.
- La búsqueda de fuentes alternas de resistencia debe intensificarse, especialmente para arroces con niveles intermedios de resistencia.
- Debe mantenerse una supervisión permanente no sea que aparezcan nuevas razas del organismo causal.

Los materiales que se requieren para la evaluación de resistencia al enanismo transmitido por el saltahoja café son insectos virulíferos de *N. lugens*, plántulas de prueba, y facilidades para criar insectos tales como jaulas y macetas.

**Procedimiento de evaluación para la resistencia al virus del enanismo.**

Pasos	Puntos clave
<p><b>1</b> Preparación de insectos virulíferos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Críe y multiplique el saltahoja café.</li> <li>- Confine las ninfas a plantas enfermas durante 11 días antes de la inoculación para que adquieran la infección al alimentarse de ellas.</li> </ul>
<p><b>2</b> Preparación de las plántulas de prueba</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remoje las semillas de arroz en agua.</li> <li>- Transplante o siembre directamente en macetas.</li> </ul>
<p><b>3</b> Inoculación</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coloque las plántulas de prueba en jaulas que contengan los insectos virulíferos.</li> <li>- Distribuya los saltahoja uniformemente sobre las plántulas de prueba.</li> </ul>

**Procedimiento de evaluación para la resistencia al virus del enanismo (continuación).**

Pasos	Puntos clave
<b>4</b>	
Clasificación según la reacción	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Después de la inoculación, mantenga las plántulas de prueba en el invernadero para que se desarrollen los síntomas.</li> <li>- Más o menos tres semanas después de la inoculación, cuente las plántulas infectadas y no infectadas.</li> <li>- Calcule el porcentaje de plántulas infectadas para determinar la reacción.</li> </ul>

**Hoja blanca**

La enfermedad viral hoja blanca, confinada a las Américas, recibió atención por primera vez en los años 50 cuando a los informes esporádicos siguieron varios años de pérdidas catastróficas en las variedades estadounidenses altamente susceptibles, cultivadas en ese entonces en América Central, El Caribe, Venezuela y Colombia. En 1957 se inició un programa sistemático de evaluación para la resistencia en Colombia. Miles de variedades y líneas mejoradas, suministradas por el Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos, se evaluaron bajo condiciones epidémicas de campo. Únicamente las variedades japónicas fueron calificadas como resistentes, mientras que pocas líneas mejoradas índicas mostraron alguna tolerancia. Estas últimas se cruzaron con Tainan-iku 487, una variedad de Taiwán, japónica e insensible al fotoperíodo y temperaturas. La progenie más resistente se inter cruzó y seleccionó en el campo, bajo una presión fuerte de la enfermedad. Los niveles de resistencia aumentaron rápidamente culminando con la designación de la variedad ICA 10. Esta y otras líneas relacionadas del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) son esencialmente inmunes al virus. La resistencia es parcialmente dominante de la susceptibilidad y probablemente involucra genes mayores y menores, además parece ser estable ya que no han aparecido nuevas razas del virus.

El virus es transmitido por varios insectos, pero principalmente por *Sogatodes oryricola*. Cerca del 10% de la población del insecto es vector activo durante periodos epidémicos. La enfermedad hoja blanca apareció y luego dejó de ser un problema grave en los últimos años de la década del 60, presumiblemente debido al efecto adverso del virus sobre los vectores



15. *Virus hoja blanca* (foto M. Rosero).

virulíferos. Más recientemente las variedades CICA y otras enanas resistentes al vector, pero no necesariamente al virus, han mantenido la enfermedad a niveles sumamente bajos.

Aunque ningún programa está trabajando, por el momento, con hoja blanca, la selección en el campo es altamente efectiva durante los períodos epidémicos del virus. La clasificación se hace con base en una escala de 1-10 durante la floración. La evaluación en el invernadero no es práctica porque las plántulas de todas las variedades son susceptibles, lo que obliga a probar las plantas adultas, las cuales ocupan mucho espacio. Por otra parte, para mantener una colonia altamente activa se requiere el mejoramiento selectivo de los vectores, ya que cuando cesa la evaluación, la capacidad de transmisión de la población queda reducida a niveles muy bajos.

### Otras enfermedades

Además de las enfermedades del arroz que causan pérdidas moderadas a severas en extensas áreas, otras enfermedades potencialmente graves, restringidas a pocas localidades, también ocasionan bajas o grandes pérdidas de producción (Cuadro 5). Es importante supervisar y controlar las llamadas "enfermedades secundarias" por medio de programas efectivos de mejoramiento, para prevenir su diseminación o impedir que en el futuro se constituyan en enfermedades principales.

Cuadro 5. Otras enfermedades del arroz que deberían controlarse genéticamente.

Enfermedad	Organismo causal	Distribución	Resistencia		Variabilidad del patógeno	Comentarios
			Fuentes	Tipo		
<b>Enfermedades de las hojas</b>						
Mancha parda	<i>Helminthosporium oryzae</i>	Mundial	Varias fuentes moderadamente resistentes, pero no han sido utilizadas	Probablemente horizontal	Poca	Pronunciadas influencias nutricionales y ambientales en la enfermedad. Causa grandes pérdidas en arroz de secano.
Cercosporiosis	<i>Cercospora oryzae</i>	Mundial	Muchas	Vertical	Moderada	Influencia dinámica de la resistencia del hospedante.
Escaldado de la hoja	<i>Rhynchosporium oryzae</i>	Mundial	Muchas	Desconocido	Desconocida	Cómun en variedades de secano; gran influencia del medio ambiente.
Rayado bacterial de la hoja	<i>Xanthomonas translucens</i> f. sp. <i>oryzicola</i>	Asia tropical	Muchas	Parece vertical	Moderada	Muy severa después de tormentas tropicales.
<b>Enfermedades del tallo y de la vaina</b>						
Pudrición del tallo	<i>Helminthosporium sigmoideum</i> & <i>H. sigmoideum</i> var. <i>irregularis</i>	Mundial	Varias	Desconocido	Moderada	
Pudrición de la vaina	<i>Acrocyndrium oryzae</i>	Asia	Varias	Desconocido	Desconocida	
Mancha reticular de la vaina	<i>Cylindrocladium scoparium</i>	Mundial	Varias	Desconocido	Desconocida	
Bakane y pudrición basal	<i>Gibberella fujikuroi</i>	Principalmente Asia	Varias	Desconocido	Desconocida	
<b>Enfermedades sistémicas</b>						
Enanismo amarillo	Transmitido por <i>N. virescens</i> , <i>N. nigropictus</i> , <i>N. cincticeps</i>	Asia	Varias	Desconocido	Desconocida	Períodos largos de incubación en el vector y el hospedante lo hace epidemiológicamente ineficiente
Hoja blanca	<i>Sogatodes oryzae</i>	Américas	Muchas	Resistencia dominante	Nada	El virus se controla eficazmente por medio de la resistencia del insecto vector
Amarillamiento transitorio	<i>N. virescens</i> & <i>N. cincticeps</i>	Taiwán	Varias	Desconocido	Poca o nada	
<b>Enfermedades de la panícula</b>						
Falso carbón	<i>Ustilaginoides virens</i>	Mundial	Muchas	No estudiado	Desconocida	
Carbón del grano	<i>Tilletia barclayana</i>	Mundial	Muchas	No estudiado	Desconocida	
Udbatta	<i>Ephelis oryzae</i>	China e India	Muchas	Desconocido	Desconocida	Causa severas pérdidas cuando ello ocurre
Decoloración del grano	Muchos organismos	Mundial	Muchas	Desconocido	Desconocida	
<b>Nematodos</b>						
Apice blanco	<i>Aphelenchoides oryzae</i>	Mundial	Muchas	Desconocido	Poca	

Algunas de estas enfermedades causan pequeñas pérdidas ya sea porque el patógeno carece de adaptabilidad epidemiológica o porque existen variedades de arroz que tienen una resistencia estable fuerte. Otras pudieran llegar a diseminarse y agravarse si:

- se hacen cambios en las prácticas de cultivo,
- se siembran variedades susceptibles en extensas áreas de contagio, o
- se desarrollan razas o cepas virulentas de los agentes patógenos.

Diversos ejemplos recientes comprueban este fenómeno. El añublo bacterial fue una enfermedad secundaria en el Japón antes de la Segunda Guerra Mundial pero se convirtió en una enfermedad grave, debido principalmente al incremento en el uso de fertilizantes nitrogenados. El añublo bacterial también llegó a ser grave en Asia tropical a mediados y fines de la década de 1960, porque se cultivó la primera generación de variedades enanas susceptibles y se aumentó el uso del nitrógeno. Las pérdidas en los trópicos fueron usualmente mayores que en el Japón.

A comienzos de la década del 70, *Cercospora oryzae*, considerado generalmente un patógeno débil, hizo de la cercosporiosis una enfermedad principal en muchos países. Esta enfermedad fue severa primero en las estaciones experimentales y luego se esparció a los campos de los agricultores que estaban cultivando variedades susceptibles como IR20.

El escaldado de la hoja, a pesar de que está distribuido mundialmente, sólo ha aumentado en severidad en el arroz de secano de América Central y en el arroz irrigado de los suelos ácidos en Colombia. El aumento de la enfermedad está relacionado con las fuertes aplicaciones de nitrógeno en las variedades enanas.

Para verificar la existencia de estas enfermedades, los materiales de mejoramiento deben cultivarse siempre sin protección. El material sumamente susceptible a muchas de estas enfermedades usualmente muestra síntomas durante la estación lluviosa aunque la incidencia sea baja. Los fitomejoradores deben desechar automáticamente dicho material. Si la incidencia de la enfermedad comienza a aumentar debido al uso extensivo de algún germoplasma en particular, deben aplicarse los procedimientos normales de selección para determinar nuevo material resistente.

## **Evaluación para la resistencia a saltahojas y chupadores**

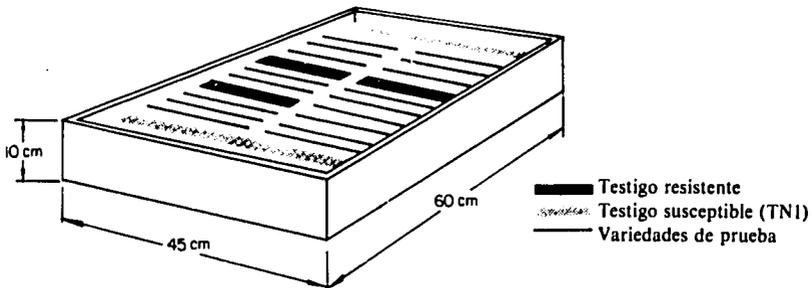
Cuatro especies de saltahojas y chupadores causan daño grave al arroz. Las tres siguientes transmiten enfermedades virósicas y también causan daño

a las plantas al alimentarse de ellas: el saltahoja verde *Nephotettix* sp., el saltahoja café *Nilaparvata lugens*, y el sogata *Sogatodes oryzae*. El sogata de dorso blanco, *Sogatella furcifera*, no transmite un virus pero afecta las plantas por alimentación directa. El *Sogatodes oryzae* está restringido a las Américas, en tanto que los otros se encuentran principalmente en Asia.

La correlación entre la reacción de la plántula y la planta adulta a los cuatro insectos es buena.

Los materiales necesarios para las pruebas de evaluación son:

- insectos;
- jaulas colocadas en invernaderos protegidos de la lluvia y mantenidos a una temperatura favorable. El techo y un lado de las jaulas deben ser de vidrio y los otros lados de tela de nilón;
- cajones o macetas con suelo fértil para obtener plántulas sanas (Fig. 16); y
- bandejas de hierro galvanizado.



16 Cajones para evaluación de plántulas por su resistencia a saltahoja y chupadores.

### Procedimiento de evaluación para la resistencia a saltahoja y chupadores en casas de malla o invernaderos.

Pasos	Puntos clave
1 Multiplicación de insectos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Críe colonias originales de insectos libres de virus en plantas de 50 días de edad de una variedad susceptible.</li> <li>- Transfiera los insectos a macetas con plantas de 50 días de edad en las jaulas y cambie las plantas a medida que sea necesario.</li> </ul>

### Procedimiento de evaluación para la resistencia a saltahojas y chupadores en casas de malla o invernaderos (continuación)

Pasos	Puntos clave
<b>1</b> Multiplicación de insectos (continuación)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produzca huevos de más o menos la misma edad, colocando las plantas durante la noche en una jaula con insectos adultos.</li> </ul>
<b>2</b> Diseño y siembra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Siembre las plantas de prueba en macetas o en semilleros de cajón de 60 x 45 x 10 cm con buen suelo. Los surcos de las variedades en prueba son de 20 cm de largo, distanciados 5 cm entre sí.</li> <li>- Siembre plantas susceptibles alrededor de la orilla externa del cajón y testigos resistentes en tres surcos individuales espaciados al azar dentro del cajón (Fig. 16).</li> </ul>
<b>3</b> Infestación y evaluación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- De 7 a 14 días después de la siembra ralee las plantas para dejar de 20 a 30 plántulas por surco.</li> <li>- Coloque las macetas o cajones en bandejas de hierro galvanizado que contengan 5 cm de agua, sobre una mesa situada dentro de una jaula de malla fina.</li> <li>- Infeste las plantas golpeando ligeramente las macetas con las colonias de insectos, para distribuir uniformemente un gran número de insectos en las plantas de prueba. Un promedio de cinco segundos es óptimo para transferir suficientes insectos y matar las plantas susceptibles en 7 a 10 días.</li> </ul>
<b>4</b> Clasificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efectúe la clasificación cuando la variedad susceptible esté muerta, con base en el Sistema de Evaluación Estándar para Arroz.</li> <li>- Calcule el porcentaje de plántulas muertas.</li> </ul>

**Procedimiento de evaluación para la resistencia a saltahojas y chupadores en el campo.**

Pasos	Puntos clave
<b>1</b> Evaluación durante todo el año en algunas localidades <sup>1</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Siembre mensualmente variedades susceptibles en el centro del lote para mantener la población de insectos.</li> <li>- Libere los insectos en el lote para iniciar la infestación, si es necesario.</li> <li>- Siembre algunas variedades moderadamente susceptibles para mantener la población de insectos sin matar las plantas hospedantes.</li> <li>- Siembre los semilleros de las introducciones de prueba en el centro de las parcelas infestadas, para que los insectos se desplacen a las nuevas plántulas. Corte las plantas viejas periódicamente para que los insectos emigren a las plantas en prueba.</li> </ul>
<b>2</b> Para evaluación estacional <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Siembre las variedades en prueba, rodeadas por variedades susceptibles, seis a ocho semanas después del inicio de la época principal de cultivo.</li> <li>- Si es necesario, libere insectos ya sea criados en el invernadero o recogidos en otros lotes.</li> <li>- El uso de ciertos insecticidas mata los predadores y puede dar como resultado una multiplicación rápida de algunos saltahojas y chupadores.</li> </ul>
<b>3</b> Clasificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Clasifique las introducciones utilizando la escala del Sistema de Evaluación Estándar del Arroz.</li> <li>- Cuente los insectos en cuatro plantas seleccionadas al azar en los períodos de máxima infestación.</li> </ul>

<sup>1</sup> Las poblaciones altas de saltahojas y chupadores pueden mantenerse continuamente en el campo bajo condiciones favorables.

<sup>2</sup> El arroz se puede evaluar efectivamente por resistencia a algunos saltahojas y chupadores, sembrando el vivero en la época que coincida con una alta incidencia natural de la población.

## Saltahojas café

El extenso cultivo de variedades enanas en Asia ha incrementado la población del saltahojas café en el campo, mucho más que la de cualquier otro insecto. Brotes de este insecto han causado considerables pérdidas económicas en las Filipinas, Indonesia e India, y se han registrado brotes localizados en otros países. El descubrimiento de la existencia de diversos biotipos, cada uno con diferente habilidad para atacar las variedades resistentes, dificulta en alto grado el uso de la resistencia monogénica para controlar eficazmente a *Nilaparvata lugens* (Fig. 17).

Los procedimientos de selección de plántulas han permitido identificar genes individuales de resistencia para los distintos biotipos. Muchos programas están utilizando actualmente este método de selección por resistencia y algunos evalúan varios biotipos simultáneamente en el invernadero. Sin embargo, aún no se han desarrollado métodos para identificar fácilmente la resistencia moderada o de campo (Fig. 18).

La investigación sobre la variabilidad del insecto indica que existen por lo menos cinco biotipos (Cuadro 6). Aunque el biotipo I aparentemente predomina en el este y sudeste de Asia, el biotipo II se ha expandido recientemente en las Filipinas e Indonesia, en donde las variedades resistentes al biotipo I se han cultivado por varios años. La situación en el sur de Asia no es completamente clara, pero predomina un biotipo diferente al que hasta 1977 no se había dado nombre.

En las Filipinas se cultivaron continuamente durante dos o tres años, en áreas con riego durante todo el año, variedades con resistencia monogénica al biotipo I, tales como IR26 e IR1561, antes de que un nuevo biotipo rompiera esta resistencia. Pero en otras localidades, el número de generaciones del insecto depende de las variantes existentes en la población, la tasa de mutación del insecto, el tamaño de la población y las variedades hospedantes.

La falta de estabilidad de la resistencia al saltahojas café es preocupante. Deben desarrollarse nuevas y mejores estrategias de mejoramiento para incrementar la estabilidad de la resistencia así como también métodos culturales de control.

La resistencia estable seguramente existe en ciertas variedades mejoradas y líneas de mejoramiento. Algunos arroces que son susceptibles en las pruebas de plántulas en los invernaderos han sido relativamente resistentes en el campo. Hasta el presente, aunque no se conocen las razones de este fenómeno, la resistencia vertical, monogénica, no es una solución satisfactoria. Pocos programas locales tienen los medios para mantener el mismo ritmo de cambio de la población de este insecto, y los



17

*Reacción de variedades IR en las Filipinas a tres biotipos del saltahoja café.*



18

Tres tipos de reacción al saltahoja café en el campo: resistente (selección verde a la izquierda), moderadamente resistente (segunda y cuarta de izquierda a derecha), susceptible (entre y a la derecha de las selecciones moderadamente resistentes).

genes de resistencia vertical, desarrollados a través de grandes programas nacionales e internacionales, no serán útiles para la mayoría de las áreas. No obstante, dicha resistencia es un primer paso y una herramienta esencial para identificar una forma de resistencia más estable.

Cuadro 6. Biotipos del saltahoja café y principales progenitores donantes de resistencia para cada biotipo.

Biotipo	Áreas donde predomina	Principales donantes de resistencia	Genes de resistencia
I	Este y sureste del Asia	Mudgo	<i>Bph 1</i>
II	Filipinas e Indonesia	ASD 7 PTB 18	<i>bph 2</i>
III	?	Rathu Heenati	<i>Bph 3</i>
IV	?	Babawee	<i>bph 4</i>
Sin designación	Sur de la India Sri Lanka	PTB 19 PTB 20 ARC 6650	

## Saltahojas verde

Brotos severos del saltahojas verde han ocurrido recientemente en Asia tropical (e.g., en la India en 1968 y 1969, y en las Filipinas en 1971). La consecuencia más grave fue la epidemia de la enfermedad viral tungro (transmitida por el saltahojas verde), consecutiva a los ataques. Sin embargo, en algunas áreas localizadas, el saltahojas verde daña las plántulas de arroz simplemente por alimentación directa.

Varias especies de *Nephotettix* se encuentran en todo el mundo. *N. virescens* es la especie predominante en el arroz en muchas áreas, aunque *N. nigropictus* prevalece en algunas áreas.

Se han identificado cuatro genes individuales dominantes y uno recesivo para resistencia a *N. virescens*, los cuales se han denominado *Glh 1*, *Glh 2*, *Glh 3*, *glh 4* y *Glh 5*.

Afortunadamente, varias de las primeras variedades nativas que se usaron en el programa de mejoramiento del IRR1, como Peta y Sigadis, fueron resistentes a *N. virescens*. Gracias a su frecuente uso como progenitores, una alta proporción de los materiales mejorados del IRR1 y de muchos programas nacionales es resistente al saltahojas verde.

La estrategia más apropiada para controlar genéticamente este insecto es incorporar los cinco genes simples individualmente en diversas variedades. La población de saltahojas verde debe supervisarse continuamente en busca de nuevos biotipos. Para prepararse para el día en que aparezcan nuevos biotipos, los genes individuales de resistencia deben agruparse en pirámides en variedades de diversa base genética.

## Chupador de dorso blanco

El insecto chupador de dorso blanco, *Sogatella furcifera*, está ampliamente distribuido en toda el Asia y es una plaga local grave en diversas áreas. Por ejemplo, la población de este insecto crece anualmente cuando comienza a soplar el monzón en el centro de la India.

Los chupadores de dorso blanco no transmiten el virus, pero causan daño por alimentación directa. Los semilleros o los cultivos recién transplantados son generalmente los más afectados.

Los entomólogos han encontrado algunas fuentes de resistencia en el banco de germoplasma en los últimos años. Como en el programa de mejoramiento del IRRI se han venido utilizando diversos progenitores moderadamente resistentes, varias variedades modernas y muchas de sus progenies tienen cierto grado de resistencia. En el IRRI se continúa efectuando pruebas de selección del banco de germoplasma en busca de nuevos progenitores y líneas avanzadas.

## Insectos sogata

El sogata, *Sogatodes oryzicola*, sólo se encuentra en las Américas en donde el daño mecánico directo causó fuertes pérdidas de rendimiento en varios países durante los años 1957-58, cuando se estaban cultivando ampliamente las variedades estadounidenses, altamente susceptibles. El insecto transmite el virus hoja blanca, el cual también fue epidémico durante el mismo período.

La resistencia a la plaga se identificó primero en la variedad IR8 y en otras variedades indicas del Asia; ninguna de las variedades japónicas es resistente al insecto. La resistencia es del tipo de antibiosis, la cual tiene como resultado una oviposición reducida, baja eclosión de huevos y alta mortalidad de insectos. La resistencia no está asociada con la pubescencia de la planta ni con cualquier otra característica morfológica.

El programa colombiano rutinariamente evalúa las plantas seleccionadas desde las generaciones segregantes hasta los ensayos de rendimiento. Las poblaciones del insecto se mantienen en la variedad susceptible Bluebonnet 50, en jaulas grandes de multiplicación. La población se renueva periódicamente con insectos recolectados en el campo, para evitar cualquier posibilidad de cambio en el biotipo dentro de las jaulas. Diez plántulas de 15 días de edad de cada introducción o línea pura se cultivan en macetas pequeñas donde se exponen a una infestación masiva de la plaga. Los testigos resistentes Mudgo y CICA 4, junto con el susceptible Bluebonnet 50, se incluyen en cada evaluación. La clasificación se hace siete días más tarde o cuando las plántulas de Bluebonnet 50 están muertas. Los resultados se miden con base en una escala de 1-5, mediante el cálculo del porcentaje de plántulas muertas. La mortalidad de las plántulas es más variable y menos confiable que las apreciaciones visuales.

La resistencia al *Sogatodes oryzicola* es altamente heredable y puede recombinarse con todos los otros caracteres importantes de mejoramiento. La herencia de la resistencia es incierta y probablemente involucra la acción de genes mayores y menores.



19

*Daño directo del sogata en una variedad susceptible en comparación con una resistente (Foto M. Rosero).*

La resistencia al sogata es genéticamente independiente de la resistencia al virus hoja blanca. Entre las variedades colombianas recientemente designadas, únicamente CICA 4 es resistente a ambos problemas; las otras son resistentes únicamente al vector. Sin embargo, la resistencia al insecto protege completamente a las variedades que son genéticamente susceptibles a la hoja blanca. Se desconoce la naturaleza de esta protección poco común.

Todas las variedades colombianas CICA han mantenido su resistencia al insecto después de haber sido cultivadas extensivamente por varios años desde México hasta el sur de Brasil, lo que indica que no se han desarrollado nuevos biotipos. Consecuentemente, el insecto sogata ha sido reducido al estado de una plaga secundaria. Sin embargo, el peligro persiste ya que todas estas variedades poseen resistencia derivada de IR8. Se han registrado focos localizados de infestación en otras variedades, incluyendo Costa Rica 1113 y materiales de Surinam. Hasta el presente, siempre que estas variedades se han probado en Colombia, se han encontrado de moderada a altamente susceptibles, y de aquí la importancia de evaluar las líneas promisorias avanzadas de todos los programas de mejoramiento existentes en este hemisferio, antes de designarlas como variedades.

## Barrenadores del tallo

Los barrenadores han sido considerados como la principal plaga en el mundo arrocero. Cuatro especies, económicamente importantes, están ampliamente distribuidas en Asia: el barrenador rayado *Chilo suppressalis*, el barrenador amarillo *Tryporyza incertulas*, el barrenador blanco *T. innotata*, y el barrenador rosado *Sesamia inferens*. De estos cuatro sólo *C. suppressalis* y *T. incertulas* han sido ampliamente estudiados. *Diatrea saccharalis*, barrenador de la caña, es común en América Latina lo mismo que el barrenador del tallo del maíz, *Elasmopalpus lignosellus*, una plaga del arroz de secano. Estas y otras especies causan daños graves en áreas localizadas de las Américas y África, siendo necesario desechar los segregantes susceptibles en parcelas experimentales.

Los científicos de diversos países evalúan las variedades sembrando en épocas que coincidan con las altas poblaciones naturales. Algunas veces las plantas son fuertemente infestadas, pero las poblaciones de insecto a menudo son esporádicas bajo condiciones de campo. Por lo tanto, en el IRRI se usa, con buenos resultados, una jaula grande para las pruebas con *C. suppressalis* y *T. incertulas*. Aun cuando es costosa de construir, esta jaula se justifica por la consistencia de los resultados de las pruebas de evaluación con altas poblaciones de insectos en jaulas (Fig. 20). Se han encontrado niveles moderados de resistencia multigénica. La evaluación individual de plantas de variedades resistentes también se efectúa enjaulando las larvas del barrenador.



20

Evaluación de introducciones por su resistencia a *C. suppressalis* en la casa de malla grande del IRRI.

La estrategia general de mejoramiento requiere la búsqueda continua de variedades con los niveles más altos de resistencia. Un programa dialélico de apareamiento selectivo en el IRRI para concentrar varios genes de resistencia en un genotipo parece prometedor. El material promisorio se evalúa en "sitios clave" a través de la red del IRTP.

### Procedimientos de evaluación para la resistencia al barrenador del tallo.

Pasos	Puntos clave
<i>Evaluación en el campo</i>	
<b>1</b>	
Diseño	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La época de siembra debe coincidir con la población máxima del insecto.</li> <li>- Siembre las variedades de prueba en dos surcos hasta de 5 m de largo.</li> <li>- Los testigos resistentes y susceptibles deben espaciarse al azar alrededor de la parcela.</li> </ul>
<b>2</b>	
Clasificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aunque los entomólogos han desarrollado técnicas exactas de clasificación basadas en conteos, éstas no son satisfactorias para un gran número de líneas mejoradas.</li> <li>- El único método práctico es asignarles un puntaje por medio de la apreciación visual de las líneas, en comparación con el testigo resistente más cercano, en los estados de corazón muerto y panícula vana.</li> </ul>
<i>Evaluación en insectarios</i>	
<b>1</b>	
Siembra e infestación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Siembre en macetas de 27 cm de diámetro (cuatro plantas individuales/maceta) con tres repeticiones por variedad.</li> <li>- Infeste cada planta con 10 larvas del primer instar del insecto (las larvas salen de masas de huevos colocadas sobre un papel filtro húmedo en un plato petri). Recoja las larvas con un cepillo suave y colóquelas cerca de la aurícula de la hoja superior.</li> </ul>

**Procedimientos de evaluación para la resistencia al barrenador del tallo (continuación)**

Pasos	Puntos clave
<b>1</b> Siembra e infestación (continuación)	- Deje suficiente distancia entre macetas y corte las hojas más largas para prevenir la migración de las larvas. Coloque las macetas en bandejas poco profundas llenas con agua para evitar que las larvas se salgan.
<b>2</b> Clasificación	- Cada cinco días, registre la decoloración de las vainas de las hojas y la formación de corazones muertos y panículas vanas. - En 20 a 25 días, corte las plantas por la base y disecte las macollas individuales para contar la cantidad de larvas supervivientes. - Pese separadamente las larvas y las pupas de cada variedad.

**Mosca agalla**

La mosca agalla del arroz, *Orseolia oryzae*, ha sido por mucho tiempo una plaga importante durante la estación monzónica en la India, Sri Lanka, Tailandia e Indonesia. En los últimos años, la población de la mosca agalla ha aumentado en estas áreas, y las áreas infestadas se han expandido.

Las pruebas indican que los biotipos de la mosca agalla varían no sólo dentro de la India sino también entre la India, Indonesia y Tailandia. Aunque no se conoce la magnitud de la variación, cada programa de mejoramiento local debería evaluar y seleccionar sus propias variedades resistentes. Como no se han cultivado ampliamente variedades resistentes a la mosca agalla no se sabe aún si se desarrollarán nuevos biotipos del insecto en respuesta a la resistencia, o si simplemente aumentará la frecuencia con que se presentan los biotipos ya existentes en las poblaciones.

En Sri Lanka, Tailandia, Indonesia e India se han desarrollado procedimientos altamente efectivos de evaluación en invernadero (Fig. 21).



21

*El Dr. M.B. Kalode, entomólogo del Proyecto Coordinado de Mejoramiento de Arroz de la India, Hyderabad, evaluando la resistencia a la mosca agalla en el invernadero.*

Las evaluaciones en el campo sembrando los materiales de prueba para que coincidan con las poblaciones altas del insecto también han sido altamente exitosas. Los espaciamientos apropiados entre plantas y la iluminación por varias horas durante la noche aumentan las poblaciones del insecto.

La herencia de la resistencia a la mosca agalla no está claramente definida, pero estudios en tres localidades indican diferentes formas de herencia. Por otra parte, la fácil transferencia de la resistencia a las variedades enanas sugiere que la herencia de la resistencia es simple.

Varios países han distribuido variedades con resistencia a la mosca agalla. Aunque la resistencia ha reducido eficazmente la infestación del insecto, estas variedades no se cultivan ampliamente por cuanto carecen de otras características deseables.

Una estrategia efectiva de mejoramiento sería incorporar la resistencia conocida en un amplio grupo de variedades genéticamente diversas. El grado de variación y la distribución de los biotipos requieren más estudio y supervisión. La resistencia piramidal de genes de varios progenitores puede suministrar estabilidad a las nuevas variedades resistentes.

**Procedimientos de evaluación para la resistencia a la mosca agalla.**

Pasos	Puntos clave
-------	--------------

*Evaluación en invernadero*

**1**

**Multiplicación de insectos**

- Siembre plantas susceptibles contiguamente (1x1 cm) en platonos o macetas.
- Cuando las plantas tengan 10 a 14 días, colóquelas en jaulas e inféstelas con hembras adultas recién emergidas. Las hembras adultas depositan los huevos en las hojas en la primera noche (1 adulto/15 plantas).
- A la tercera mañana después de introducir los adultos, coloque las plantas en una cámara húmeda a 95% de humedad relativa para que los huevos puedan eclosionar y las larvas del primer instar puedan moverse a las plantas.
- Después de tres días, retire las plantas de la cámara húmeda.

La duración de cada estado de crecimiento es más o menos:

huevo	3-4 días
primer instar	3-4 días
segundo instar	3-4 días
tercer instar	6-7 días
pupa	3-4 días
adulto (hembra)	3 días
(macho)	½ día

**2**

**Infestación de plantas**

- Siembre las variedades de prueba en platonos o macetas, con espaciamientos de 3 cm entre surcos y 1 cm entre plantas.

**Procedimientos de evaluación para la resistencia a la mosca agalla (continuación).**

Pasos	Puntos clave
<b>2</b> Infestación de plantas (continuación)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Infeste con 1 adulto/5 plantas, cuando las plantas tengan de 10 a 14 días de edad.</li> <li>- A la tercera mañana, traslade las plantas a la cámara húmeda con 95 a 100% de humedad relativa.</li> <li>- Después de tres días, retire las plantas y manténgalas en el invernadero.</li> </ul>
<b>3</b> Clasificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un mes después de la infestación, calcule el porcentaje total de plantas con agallas visibles.</li> </ul>

*Evaluación en el campo*

<b>1</b> Siembra del vivero	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Haga coincidir la siembra con el máximo desarrollo de la población.</li> <li>- Siembre dos repeticiones de dos surcos con 10 plantas cada uno, a un espaciamiento de 15 x 20 cm. Siembre 1 plántula/sitio.</li> <li>- Aplique suficiente fertilizante para obtener un buen crecimiento vegetativo.</li> </ul>
<b>2</b> Infestación de plantas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ilumine el campo por varias horas durante la noche para atraer los insectos adultos.</li> <li>- Si la infestación es baja, corte las plantas para inducir mayor macollamiento a fin de favorecer la infestación tardía.</li> </ul>
<b>3</b> Clasificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Más o menos 30 ó 40 días después del trasplante, calcule visualmente la cantidad de agallas presentes en todas las líneas en comparación con los testigos resistentes adyacentes. Una escala visual de 1-9 sirve para determinar las reacciones de resistencia, resistencia moderada y susceptibilidad.</li> </ul>

## Otros insectos

Muchos otros insectos causan daño en las regiones arroceras del mundo. Algunos, como el minador de la hoja (*Hydrellia philippina*), están ampliamente distribuidos y anualmente causan alguna reducción en el rendimiento. Otros como el doblador de hojas (*Cnaphalocrosis medinalis*) o el enrollador de hojas (*Susumia exigula*) ocurren esporádicamente pero son devastadores cuando aparecen. Se han encontrado algunas diferencias varietales en la reacción al minador. Por otra parte, todas las variedades parecen susceptibles a los dobladores y enrolladores de hojas así como también a muchos otros insectos masticadores. Un programa integrado de control químico y cultural es la medida más práctica para combatir estos y otros insectos similares.

## CAPITULO 8

# Tolerancia a Condiciones Edáficas Desfavorables

La demanda de arroz es alta pero la disponibilidad de tierra arable es limitada en las regiones densamente pobladas del sur y sudeste de Asia. No obstante, en los trópicos húmedos asiáticos, especialmente en las cuencas de los ríos, hay cerca de 100 millones de ha de tierra fisiográfica y climáticamente apropiada para arroz actualmente inexploradas. Grandes áreas de estas regiones tienen suelos con diversos problemas, pero éstos podrían cultivarse si se tuvieran en cuenta tres factores: inundación, manejo adecuado y el uso de variedades adaptadas (Cuadro 1). El arroz es el único cultivo apropiado para estas áreas porque sobrevive en suelos anegados. Aunque la aplicación de agroquímicos costosos, como el yeso y la cal, puede corregir algunos problemas edáficos, estos productos deben emplearse en combinación con variedades tolerantes a fin de incorporar a la producción grandes áreas de tierra en los países en desarrollo.

La tolerancia genética de las variedades de arroz a las diversas condiciones edáficas adversas varía enormemente. Numerosas variedades de arroz con alguna tolerancia a la salinidad, alcalinidad, toxicidad de Fe, acidez fuerte, deficiencia de Zn y P y suelos orgánicos, han evolucionado o se han seleccionado durante siglos. Sin embargo, la mayoría rinde muy poco y carece de resistencia a las principales enfermedades y plagas.

Los químicos de suelos han desarrollado procedimientos de selección para identificar variedades tolerantes a la mayoría de los problemas edáficos (Cuadro 2). No obstante, las interacciones entre la planta de arroz y muchos factores del suelo son tan complejas que los procedimientos aún están siendo depurados y mejorados, y los tipos de suelos con problemas están siendo mejor caracterizados. Recientemente se han hecho grandes progresos en la modificación de los suelos en los invernaderos y en el campo para expandir las áreas en donde puede efectuarse la selección. Sin embargo, la capacidad de selección es aún baja para la mayoría de las

## 214 Mejoramiento de Arroz

Cuadro 1. Algunas características de los principales problemas edáficos.

Problemas	Área estimada afectada en los trópicos (millones ha)	Tipo	Rango de pH	Materia orgánica (%)	Correctivos químicos y culturales	Comentarios
<b>Toxicidades</b>						
Salinidad	Cincuenta y cinco en Sur y Sudeste de Asia <sup>a</sup>	Árido irrigado y costero	4.0 - 8.5	1 - 50	Inundar y lixiviar	Toxicidad de Fe en suelos bajos en pH
Alcalinidad	Dos en Sur y Sudeste de Asia, 26 en África y tres en Suramérica	Áridos (irrigados)	8.5 - 10.0	Baja	Yeso, lixiviar e inundar	
Hierro	<sup>b</sup>	Ultisoles ácidos Histosoles ácidos con sulfatos ácidos	5.0		Encalamiento y manejo de agua	
Sulfatos ácidos	Diez en Sur y Sudeste de Asia	Con sulfatos ácidos	1.0 - 4.5		Inundar, encalar MnO <sub>2</sub> , lixiviar y fertilizar	Exceso de Al seguido por exceso de Fe al adecuar los suelos.
Histosoles	Treinta en Sur y Sudeste de Asia	Fuertemente ácidos a neutros	2.0 - 7.0		Aplicar fertilizantes y micronutrientes	Son bajos también en NPK, Zn, Cu y Mo.
<b>Deficiencias</b>						
Zinc	Amplia distribución	Suelos alcalinos, calcáreos y neutros todos continuamente húmedos	5.4 - 8.7	1.7 - 37	Zinc	
Fósforo	Amplia distribución	Ultisoles, Oxisoles Vertisoles, suelos con sulfatos ácidos, calcáreos y sódicos	4.0 - 7.5		Inundar	También fijan parte del fertilizante fosfórico aplicado (ocurre también en suelos inundados calcáreos y sódicos bajos en materia orgánica).

<sup>a</sup> Incluye 30 millones de ha de tierra árida y 25 millones de ha de tierra costera.

<sup>b</sup> Desconocida.

pruebas. Los fitomejoradores recientemente han empezado a transferir la tolerancia a suelos problema a un amplio rango de variedades de alto rendimiento; las perspectivas ahora son buenas para el desarrollo de nuevos arroces con tolerancia estable a los principales problemas del suelo. Esta tolerancia genética, complementada con prácticas culturales, puede ayudar a incorporar tierras nuevas a la producción arrocerá.

La Figura 1 muestra el flujo del material genético a través del programa de Utilización y Evaluación Genética (GEU) del IRR1 para desarrollar variedades adaptadas a condiciones edáficas adversas. Los químicos de suelos están identificando muchas fuentes de tolerancia en el banco de germoplasma. La tolerancia de dichas fuentes se está incorporando rápidamente en diversas bases genéticas mediante un programa voluminoso de cruzamientos. Las progenies se están evaluando en suelos acondicionados en los invernaderos y el campo en el IRR1 y en áreas seleccionadas de las Filipinas. Los progenitores y materiales avanzados se están probando en cooperación con científicos nacionales y en los viveros del IRT<sup>2</sup>.

Cuadro 2. Procedimientos de selección para los principales problemas edáficos.

Problemas	Selección			Nivel o disponibilidad de químicos	Edad de la planta al clasificarla	Variedades testigo o línea	
	Invernadero	Campo corregido con químicos	Natural			Resistente o tolerante	Susceptible
<b>Toxicidades</b>							
Salinidad	x	x <sup>a</sup>	x	Cl <sup>b</sup> de 8-10 mho/cm	Cuatro semanas después del trasplante	IR2153-26-3 Pokkali	IR28, M IR4630-2
Alcalinidad	x	x <sup>c</sup>	x	pH de 8-5	Tres semanas después del trasplante	Pokkali	IR2153-2
Hierro	x		x	400 ppm Fe <sup>++</sup>	Ocho semanas después del trasplante	Mat Chanda BW 78 Devarredh Gissi 27	IR26
Sulfatos ácidos			x			Bahaga Khao Dawk Mah105	Muchas
Histosol			x			IR34	E425
<b>Deficiencias</b>							
Zinc	x		x	0.2-0.4 ppm Zn	Cuatro semanas después de la siembra	IR34	E425
Fósforo	x		x	0.5 ppm P	Cuatro semanas después de la siembra (invernadero) o trasplante (campo)	IR1514-E666 Khao Dawk Mah 105	Muchas
Hierro			x	0.0 ppm Fe	Diez semanas después de la siembra	IR36	Peta

<sup>a</sup> Sal de mesa al 0.5%; problemas de percolación y escorrentía

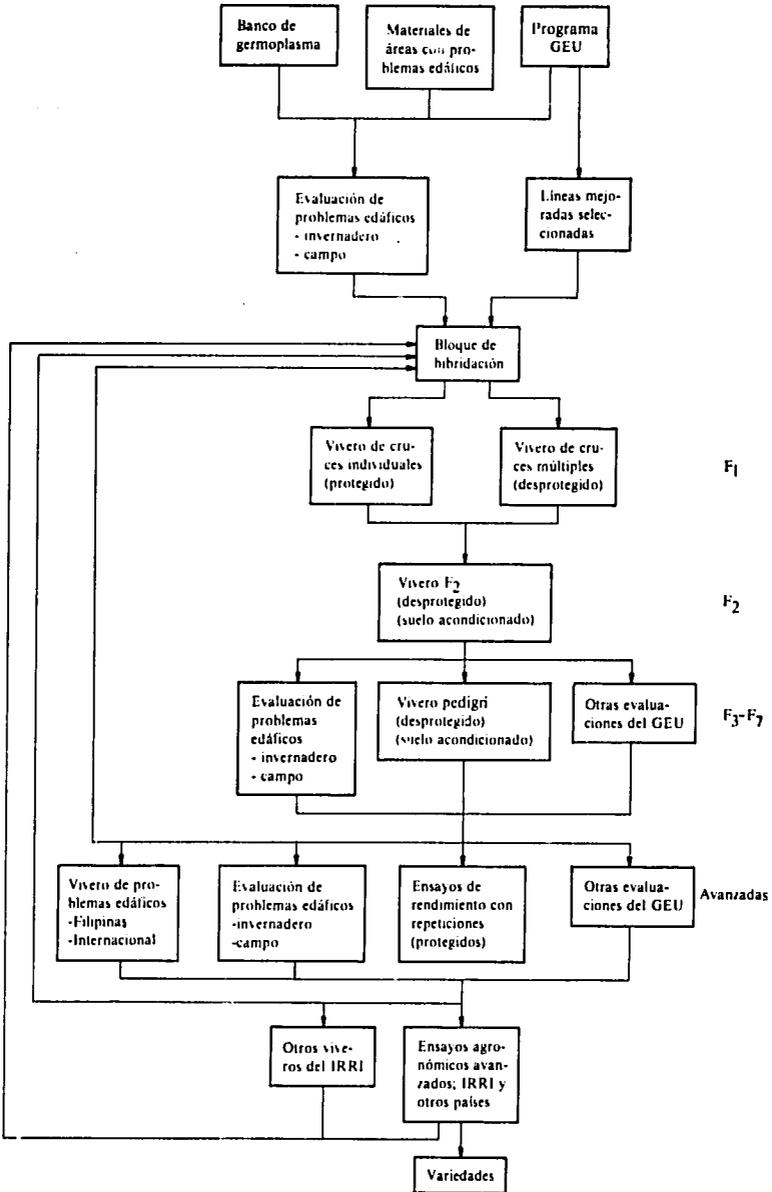
<sup>b</sup> Cl = Conductividad eléctrica

<sup>c</sup> Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 1.4%; también debe adicionarse Zn para prevenir su deficiencia

## Salinidad y alcalinidad

El problema edáfico más difundido es el exceso de sal. Los niveles tóxicos de sal impiden o limitan el cultivo del arroz en más de 50 millones de ha de tierras áridas o planicies costeras del sur y sureste de Asia, que a menudo son áreas suburbanas densamente pobladas. Las regiones tropicales y subtropicales en África y América del Sur también tienen grandes extensiones de suelos salinos. Gran parte de los 25 millones de ha de suelos salinos costeros del sur y sudeste asiáticos pueden convertirse en productoras de arroz sin la inversión de grandes capitales si se cuenta con variedades de alto rendimiento, tolerantes a la salinidad.

La alcalinidad es un problema común en las regiones áridas de la llanura Indogangética de la India y Paquistán. Aunque se dispone de agua subterránea, la mayoría de la tierra alcalina permanece inutilizada. En Australia y África también se encuentran millones de hectáreas de suelos alcalinos pero el limitante para poner estas áreas en producción es el agua.



1 Flujo del material genético a través del programa de Evaluación y Utilización Genética (GEU) del IRRI para el desarrollo de variedades adaptadas a condiciones edáficas adversas.

La salinidad en cultivos de arroz de regiones áridas y costeras varía ampliamente durante la estación de cultivo. La salinidad es más alta en la estación seca en regiones áridas, pero a menudo no es un problema grave en la estación lluviosa. La salinidad en las regiones costeras fluctúa de acuerdo con la lluvia y las mareas. Como la salinidad no siempre está distribuida uniformemente, es difícil hacer una evaluación uniforme. Las plantas de arroz son más susceptibles en el estado de plántula, pero con la edad se tornan tolerantes. Las concentraciones salinas, con una conductividad específica de 8-10 mmho/cm a 25°C marcan claramente la diferencia entre arroses susceptibles y tolerantes. Se requieren temperaturas moderadas a cálidas para poder efectuar una selección adecuada.

Los suelos alcalinos se pueden adecuar aplicando yeso o lixiviando el suelo. El arroz tolerante a la alcalinidad es el mejor cultivo para sembrar durante y después de la adecuación de aquellas áreas con suelos de alcalinidad alta. Los suelos moderadamente alcalinos pueden adecuarse mediante la aplicación de yeso, el manejo apropiado del agua y el cultivo de arroses tolerantes.

Se han desarrollado procedimientos efectivos de invernadero para evaluar la tolerancia a la salinidad y alcalinidad. Los procedimientos de selección en el campo han sido desarrollados en conjunto con científicos de varios países, pero se están mejorando continuamente a medida que se logra experiencia adicional.

Los siguientes elementos son necesarios para evaluar la salinidad y alcalinidad en invernadero:

- suelo molido, secado al aire,
- sulfato de amonio, superfosfato y potasa,
- paja de arroz molida,
- *Glyricidia sepium* molida y seca,
- bandejas plásticas (35 x 27 x 11 cm)
- sal común (para las pruebas de alcalinidad se requiere Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> en lugar de sal común), y
- variedades testigo resistentes y susceptibles.

#### **Procedimientos de selección por tolerancia a la salinidad y a la alcalinidad.**

Pasos	Puntos clave
<i>Selección en invernadero</i>	
<b>1</b>	
Preparación del suelo y de los elementos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muela y seque el suelo al aire</li> <li>- Muela paja de arroz</li> <li>- Seque y muela <i>Glyricidia sepium</i>.</li> </ul>

### Procedimientos de selección por tolerancia a la salinidad y a la alcalinidad (continuación).

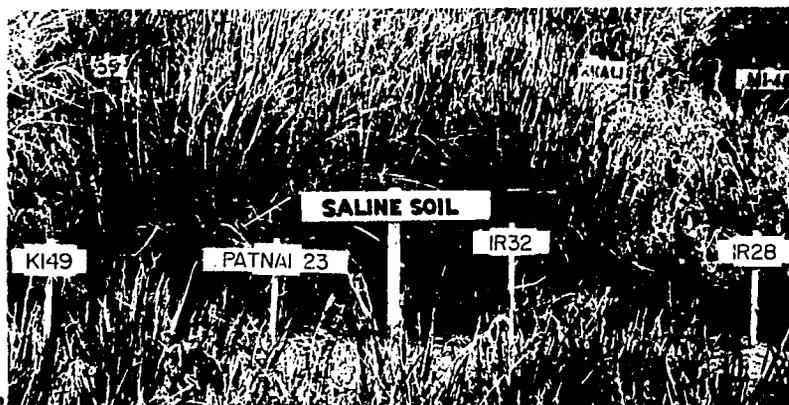
Pasos	Puntos clave
<p><b>2</b> Mezcla del suelo</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mezcle 5 kg de suelo molido con:               <ul style="list-style-type: none"> <li>— 1.6 g de sulfato de amonio</li> <li>— 0.75 g de superfosfato concentrado</li> <li>— 0.25 g de muriato de potasa</li> <li>— 3.8 g de paja de arroz molida</li> <li>— 0.75 g de <i>Glyricida sepium</i>.</li> </ul> </li> <li>- Coloque el suelo en bandejas plásticas. El suelo húmedo de las bandejas puede utilizarse continuamente si se trata con cloruro de sodio después de cada tercera prueba.</li> <li>- Agregue cuatro litros de una solución de sal común al 0.5% (<math>\text{Na}_2\text{CO}_3</math> para alcalinidad) y mezcle completamente con el suelo. Este nivel de solución de sal da una CE de 8-10 mmho/cm a 25°C.</li> </ul>
<p><b>3</b> Preparación de plántulas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prepare la solución nutritiva:               <ul style="list-style-type: none"> <li>— 40 ppm de cada elemento: nitrógeno, potasio, calcio y magnesio</li> <li>— 10 ppm de fósforo</li> <li>— 0.5 ppm de manganeso</li> <li>— 0.05 ppm de molibdeno</li> <li>— 0.2 ppm de boro</li> <li>— 0.01 ppm de zinc y cobre</li> <li>— 5 ppm de hierro en forma de Fe EDTA</li> <li>— ajuste el pH a 6.0.</li> </ul> </li> <li>- Dos semanas antes del transplante remoje 20 semillas de cada variedad en una solución con una concentración de 1:10.</li> <li>- Tres días después reemplace la solución por una con concentración de 1:4.</li> <li>- Seis días después reemplácela por una solución con concentración total.</li> </ul>
<p><b>4</b> Transplante y mantenimiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seleccione seis plántulas sanas y transplántelas a las bandejas preparadas con dos días de anticipación.</li> </ul>

**Procedimientos de selección por tolerancia a la salinidad y alcalinidad (continuación).**

Pasos	Puntos clave
<b>4</b> Transplante y mantenimiento (continuación)	- Use una bandeja con el testigo resistente (Pokkali) y una con el susceptible (T 26) por cada 20 bandejas.
<b>5</b> Clasificación	- Cuatro semanas después del transplante (tres semanas para alcalinidad), clasifique las plantas de acuerdo con el Sistema de Evaluación Estándar para Arroz. Hay una correlación alta entre la clasificación a las cuatro semanas y a la madurez.
<i>Selección en el campo</i>	
<b>1</b> Preparación del lote	- Are, fanguee, fertilice y nivele completamente el lote. Adicione algo de zinc para prevenir su deficiencia en las parcelas para evaluación alcalina. - medidor del pH, y - medidor de la conductividad eléctrica (CE).
<b>2</b> Preparación de plántulas	- Siembre semilla pregerminada en semilleros con buena tierra. - Agregue la cantidad óptima de fertilizante para obtener un buen crecimiento.
<b>3</b> Transplante	- Seleccione plántulas uniformes de tres semanas para áreas no costeras y de cuatro a seis semanas para áreas salinas costeras. - Transplante 1 plántula/sitio a 25 x 25 cm. - Debido a la presencia de parches salinos y alcalinos, es recomendable hacer repeticiones.
<b>4</b> Manejo del vivero	- Separe los lotes experimentales de la entrada de agua con franjas de bordes de tres a cuatro surcos, situadas en ángulo recto a la entrada del agua.

**Procedimientos de selección por tolerancia a la salinidad y alcalinidad** (continuación)

Pasos	Puntos clave
4 Manejo del vivero (continuación)	- Mantenga las parcelas con una capa permanente de agua de varios centímetros.
5 Clasificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Clasifique únicamente aquellas parcelas en donde el testigo susceptible indique la presencia de sal (Figs. 2 y 3).</li> <li>- En el momento de la clasificación mida la CE del suelo y de la superficie del agua de un número conveniente de parches salinos indicados por las plantas afectadas.</li> <li>- En el momento de la clasificación tome muestras del suelo de un número conveniente de parches salinos y mida el pH del suelo seco. También mida la CE del extracto saturado, si ésto no se hizo en el campo.</li> <li>- Clasifique el resto de las plantas y los testigos resistentes y susceptibles de acuerdo con la escala del Sistema de Evaluación Estándar para Arroz.</li> </ul>



2 *Diferencias varietales a la salinidad en el campo. Suelo salino.*



3 *Diferencias varietales a la alcalinidad en el campo. Suelo alcalino.*

## **Toxicidad de hierro**

La toxicidad de hierro es un desorden nutricional del arroz que ocurre ampliamente en Ultisoles e Histosoles altamente ácidos, y en suelos con sulfatos ácidos (conocidos también como bisulfatos). El daño va desde muerte de la planta hasta rendimientos pobres de grano, a pesar de un buen crecimiento vegetativo. Varios factores influyen en el nivel de daño: tipo de suelo, variedad, edad del cultivo, situación nutricional general de la planta y condiciones del tiempo.

El cultivo de variedades tolerantes a la toxicidad de hierro puede reducir la necesidad de aplicar cal como correctivo químico si se maneja adecuadamente el agua.

La mayoría de las selecciones se efectúan en áreas donde la toxicidad de hierro se presenta naturalmente. Es difícil mantener un nivel adecuado de hierro en suelos acondicionados en el invernadero o en el campo. Se han obtenido buenos resultados de selección en Sri Lanka y otros países.



Resistencia varietal al "anaranjamiento" en suelos ácidos (foto M. Rosero).

### Suelos sulfato-ácidos

Casi 10 de las 15 millones de ha del mundo que presentan problemas debido a los sulfatos ácidos o bisulfatos en el suelo se encuentran en las áreas tropicales y subtropicales del sur y sudeste de Asia. La mayoría son fisiográfica y climatológicamente apropiadas para el cultivo de arroz.

Estas áreas anegadas tienen una reacción casi neutra, pero cuando se secan se vuelven extremadamente ácidas y letales para las plantas. Como el arroz crece en suelos anegados, pueden utilizarse variedades tolerantes para poner en producción los suelos menos ácidos sin recurrir a las aplicaciones costosas de cal.

Los suelos con bisulfatos varían ampliamente en sus propiedades químicas e hidrológicas; por lo tanto, es más conveniente hacer la selección en áreas donde ocurre el problema. Las variedades también deben ser tolerantes a la toxicidad de hierro, salinidad y deficiencia de fósforo para poder desarrollarse normalmente en estos suelos. Al comenzar la adecuación se presenta exceso de aluminio, pero con el tiempo éste es reemplazado por el exceso de hierro.

En Tailandia se ha iniciado la selección en suelos con sulfatos ácidos. Existen diferencias varietales muy marcadas en cuanto a la tolerancia a estos suelos.

## Deficiencia de zinc

La deficiencia de zinc se encuentra en muchas clases de suelos, tanto alcalinos, calcáreos y neutros, como en Histosoles y en suelos continuamente húmedos sin importar el pH. Por esta razón se considera el tercer problema nutricional más importante que limita los rendimientos del arroz en áreas húmedas, y lo que es más importante, la severidad de la deficiencia de zinc puede aumentar debido a:

- La absorción de grandes cantidades de zinc al cultivar variedades de alto rendimiento,
- la sustitución del sulfato de amonio (fertilizante ácido) por urea,
- el uso continuo de fertilizantes fosfóricos, y
- la producción de dos y tres cosechas de arroz de fanguero consecutivas.

Por lo tanto, las variedades con alguna tolerancia a la deficiencia de zinc reducirán la cantidad requerida de éste para corregir el problema.

Se han realizado pruebas en suelos con un contenido de zinc tan bajo como 0.04 ppm, pero sólo unas pocas variedades sobrevivieron. Los suelos con un contenido disponible de zinc de 0.5 ppm parecen ser adecuados para la mayoría de las pruebas de selección, tanto en invernadero como en el campo.

## Deficiencia de fósforo

En los trópicos muchos tipos de suelo son deficientes en fósforo y fijan grandes cantidades del fertilizante fosfatado. Esta deficiencia está ampliamente distribuida y frecuentemente es severa en toda el área de arroz de secano de América Central. Las variedades de arroz que utilizan eficientemente el fósforo que extraen del suelo serían de gran utilidad para los pequeños agricultores.

La deficiencia de fósforo del arroz puede evaluarse en el invernadero y en el campo. En el primer caso, se debe preparar una solución nutritiva que contenga los siguientes elementos: 40 ppm de N; 40 ppm de K; 40 ppm de Ca; 4.0 ppm de Mg; 5.0 ppm de Fe; 0.5 ppm de Mn; 0.05 ppm de Mo; 0.01 ppm de Zn; 0.02 ppm de B; y 0.01 ppm de Cu.

**Procedimientos de selección por tolerancia a la deficiencia de fósforo.**

Pasos	Puntos clave
<i>Selección en invernadero</i>	
<b>1</b>	
Preparación de la solución nutritiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 0.5 ppm de fósforo, y</li> <li>- 10 ppm de fósforo.</li> </ul>
<b>2</b>	
Preparación de la semilla	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pregermine la semilla.</li> <li>- Coloque cuatro semillas sobre un trozo cuadrado de 7.5 cm de malla de nylon flotante introducido en la solución nutritiva en macetas de 4 litros.</li> </ul>
<b>3</b>	
Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revise y mantenga diariamente el pH de la solución nutritiva.</li> <li>- Cambie semanalmente la solución nutritiva.</li> </ul>
<b>4</b>	
Clasificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Después de cuatro semanas cuente el número de macollas de cada variedad en las dos concentraciones de fósforo y exprese la tolerancia con relación al número de macollas presentes.</li> </ul>
<i>Selección en el campo</i>	
<b>1</b>	
Preparación del terreno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Siembre en un suelo deficiente en fósforo.</li> </ul>
<b>2</b>	
Manejo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para fines comparativos, agregue 25 kg de fósforo a una repetición y compare los rendimientos en ambas condiciones.</li> </ul>

## CAPITULO 9

# Adaptabilidad a Condiciones de Secano

Este libro está dirigido al mejoramiento del arroz de riego, pero quedaría incompleto si no se hiciese referencia a los problemas específicos del mejoramiento del arroz de secano. Después de décadas de abandono casi total, los científicos arroceros están empezando a estudiar el arroz de secano. Nuevos métodos e información están surgiendo del IITA y de la Costa de Marfil, y unos pocos programas en América Latina y Asia se concentran ahora en el mejoramiento del arroz de secano. Dentro de una generación, probablemente habrá suficiente material para escribir un libro sobre este tema.

A pesar de la importancia del arroz de secano, especialmente en Asia y América Latina, y también en partes de Africa, los gobiernos no han dado prioridad a su investigación, y se han hecho pocos esfuerzos para mejorar las variedades de secano o las prácticas de cultivo. Algunos argumentan que los aumentos en rendimiento del arroz irrigado en Asia, junto con el mejoramiento progresivo del arroz dependiente de las lluvias y la ampliación de sistemas de irrigación, reducirán la importancia del arroz de secano y que la mayor parte del área del arroz de secano debería dedicarse a otros cultivos. Pero este no es el caso en América Central, Africa occidental o Brasil, en donde, a pesar del aumento en rendimiento y área, el arroz irrigado aparentemente no reemplazará el cultivo de secano por muchos años.

Los ecosistemas variados en los cuales se cultiva el arroz de secano dificultan aún más la situación. Estos ecosistemas difieren grandemente en cuanto a suelos, precipitación, prácticas agronómicas, y otros factores. Por otra parte, hay sistemas de subsistencia, tala de bosques y quema, de por si de muy baja productividad, y otros que comprenden la preparación mecanizada de la tierra en sabanas en donde los suelos ácidos y la baja precipitación son factores que limitan la producción. Un ecosistema poco

común y relativamente favorecido es el que se encuentra en América Central en donde los suelos son relativamente fértiles, la precipitación es abundante y el nivel freático es frecuentemente alto. En años de precipitación bien distribuida, algunas de las variedades enanas modernas pueden rendir de tres a cinco ton/ha en las fincas. Sin embargo, estas variedades son a menudo inestables y sucumben a la piricularia y otros problemas después de uno o dos años. Una excepción es Costa Rica 1113, la cual aparentemente combina resistencia de campo a piricularia con tolerancia moderada a la sequía, y ha dado rendimientos moderadamente altos y estables por varios años. Áreas críticas de investigación para esta situación favorecida son la resistencia a piricularia y escaldado de la hoja, fertilización fosfórica y control de malezas para evitar que decaiga la productividad que ha logrado alcanzarse en este ecosistema.

Los factores limitantes del rendimiento del arroz de secano incluyen combinaciones de problemas de sequía, nutrición mineral, enfermedades, plagas y malezas que suelen ser distintas de aquellas del arroz de riego. Cada ecosistema tiene un conjunto peculiar de limitantes de rendimiento que influye de diversas maneras. El factor que parece determinar la naturaleza del ecosistema y fija todos los niveles de productividad es el suministro de humedad al suelo a lo largo del ciclo de cultivo.

Las estrategias de mejoramiento del arroz de secano requieren un completo análisis de los componentes de cada ecosistema. Los enfoques seguidos para arroz irrigado rara vez son aplicables al arroz de secano. Los niveles de productividad y las metas de rendimiento son invariablemente más bajas para el arroz de secano. Los tipos ideales de planta son diferentes. Las variedades altas tienen un sistema radical más profundo que las enanas y, en general, el germoplasma del arroz irrigado tiene poco que ofrecer a los programas de mejoramiento de secano. Un enfoque útil es emplear principalmente las variedades nativas que han acumulado tolerancia a los limitantes del rendimiento por largos períodos de selección natural. El desafío es incorporar cambios modestos, orientados a obtener aumentos moderados de rendimiento, sin perder la estabilidad del rendimiento de estas variedades nativas.

Casi todo el arroz de secano en América Latina se cultiva en suelos relativamente infértiles y ácidos en donde la lluvia es impredecible, como en el oriente de Colombia, Venezuela, y gran parte del Brasil. La ausencia de un nivel freático alto, la extrema permeabilidad del suelo, y la irregularidad de la lluvia indican que la sequía es el principal factor limitante del rendimiento, especialmente en Brasil. A pesar de que el sistema de cultivo del arroz en el Brasil está altamente mecanizado, los rendimientos regionales promedian únicamente cerca de 1 ton/ha y los más

altos en las estaciones experimentales escasamente llegan a 3 ton/ha. Para este tipo de cultivo de secano, en donde el arroz está sujeto a severas sequías, el aumento del rendimiento a nivel comercial requiere mucho más que riego, una buena variedad enana, control de malezas, mejores prácticas agronómicas, o protección contra enfermedades. A este problema tan difícil está dedicado el resto de nuestra discusión sobre arroz de secano.

Las variedades actuales de secano del Brasil son moderadamente altas y tienen baja habilidad de macollamiento. Las hojas son largas y anchas y el sistema radical es bien desarrollado. Muchas son resistentes a la helmitosporiosis, una enfermedad importante en suelos infértiles, y algunas parecen tener el comportamiento de lenta diseminación de las variedades con resistencia horizontal a la piricularia. Tienen, además, buen peso de grano, endosperma claro y excelente calidad de cocción.

En Brasil, el arroz de secano se siembra en surcos a una distancia de 60 cm. Con este espaciamiento amplio, el tipo de planta es razonablemente bueno, la piricularia usualmente no es severa, y el crecimiento vegetativo parece estar en una excelente condición fisiológica. No obstante, el follaje nunca cubre los espacios entre surcos, el índice de área foliar es bajo, la mayoría de la radiación solar se pierde, y los rendimientos permanecerían bajos así se elimine el problema de sequía de la planta.

La investigación ha demostrado que los espaciamientos cortos no aumentan, y pueden incluso disminuir el rendimiento de las variedades tradicionales de secano. La principal razón parece ser que los espaciamientos entre surcos menores de 30 cm ocasionan el deterioro del tipo de planta porque las plantas crecen más altas y frondosas. Obviamente, esto aumenta el sombrío mutuo que afecta adversamente la habilidad de rendimiento. Probablemente más importante es el hecho de que el incremento del tamaño de la planta y del índice de área foliar en relación con un desarrollo radical constante, intensifica el problema de humedad deficiente de la planta. Otra razón importante por la que la densidad y rendimiento se correlacionan negativamente en las variedades tradicionales de secano es que la piricularia aumenta con los espaciamientos más cortos. Sin embargo, las variedades enanas de alto rendimiento que se siembran a espaciamientos cortos no pueden sustituir las variedades tradicionales de secano adaptadas localmente porque carecen de resistencia a la sequía.

Todo programa de mejoramiento genético debería comenzar, por consiguiente, por buscar los mejores niveles de tolerancia a la sequía entre los tipos altos indica de distintas áreas de producción de todo el mundo. Aunque las variedades brasileñas son conocidas como las más tolerantes, la hibridación entre distintas fuentes puede aumentar los niveles de

tolerancia existentes. No existe una técnica sencilla para evaluar la tolerancia a la sequía en distintos estados de crecimiento en grandes poblaciones. Sin embargo, como las variedades difieren en su habilidad para recuperarse de los periodos de sequía, la recuperación vegetativa puede estimarse visualmente unos pocos días después que termina la canícula. De importancia similar es la búsqueda de tolerancia a la toxicidad de aluminio con recombinación a la tolerancia a la sequía. Algunas variedades nativas de áreas de suelos ácidos, tales como Monolaya de Colombia, tienen una tolerancia superior a la toxicidad de aluminio. Esta tolerancia permitirá una penetración más profunda de la raíz para buscar la humedad en los suelos ácidos. De importancia crítica es también la resistencia horizontal a piricularia en combinación con otras tolerancias. La evaluación y selección deberán basarse en niveles reducidos de la enfermedad en plantas adultas y no en las pruebas tradicionales de plántula.

Deben hacerse varias modificaciones en los procedimientos de mejoramiento del arroz de secano en Brasil. Es necesario reducir el espaciamiento normal de 60 cm a 30 cm a fin de aumentar la presión de selección por tolerancia a la sequía y resistencia a piricularia en las poblaciones segregantes. Los suelos de secano son fáciles de trabajar y permiten sembrar una planta cada 10 cm en los surcos, para facilitar la selección de plantas a la cosecha. Deben hacerse muchos cruces triples para combinar distintas fuentes de características deseadas. Por lo menos algunas de las combinaciones deben incluir progenitores de porte medio, pero el germoplasma enano debería omitirse. El enfoque de la selección masal modificada debería ser superior a la selección pedigrí. Las poblaciones híbridas masales deben probarse en varias estaciones experimentales para aumentar la probabilidad de encontrar factores problema en los diferentes estados de crecimiento. Las poblaciones deben inspeccionarse durante todo el desarrollo de la planta y los segregantes menos susceptibles a las enfermedades y de mejor crecimiento vegetativo y fertilidad de la panícula deben seleccionarse por medio de ciclos sucesivos de selección masal. Debe hacerse énfasis en la selección por panículas grandes, tallos gruesos, resistencia a enfermedades foliares, tipo de grano, altura intermedia y periodo de maduración deseado en las líneas puras  $F_5$  y  $F_6$  extraídas de los compuestos masales.

El mejoramiento del arroz de secano requiere equipos bien organizados de científicos de varias disciplinas. Si se llegaran a desarrollar variedades productivas para sembrarlas a distancias más cortas, los agrónomos deberán mejorar las prácticas actuales de cultivo referentes a densidad de

siembra, dosis y épocas de fertilización, y control de malezas. Los fitopatólogos tendrán que trabajar estrechamente con los fitomejoradores en la selección varietal, especialmente en lo relacionado con la resistencia a la helmintosporiosis, escaldado de la hoja y piricularia. Los estudios de nutrición mineral deberán orientarse a la evaluación de las diferencias de las plantas en cuanto a tolerancia a los problemas típicos de secano como son las deficiencias de aluminio, manganeso, zinc, hierro y fósforo. Para los fitomejoradores sería de mucha ayuda que se estudiaran las diferencias varietales en el desarrollo radical con relación a los problemas de humedad y las posibles maneras de medir la resistencia a la sequía en poblaciones grandes segregantes.

## **Resistencia a la sequía**

Los esfuerzos de investigación no se habían dirigido, sino hasta hace poco, a la resistencia del arroz a la sequía. Esto se debe principalmente a la complejidad del problema más que a la falta de reconocimiento de su importancia. La productividad del arroz de secano, secano favorecido, aguas profundas, y aún del arroz irrigado, siempre ha estado limitada por un inadecuado suministro de agua en ciertas fases del crecimiento. Los científicos interesados en la resistencia a la sequía estiman que el arroz de secano abarca un 10% (8.1 millones de ha) del área arroceras del sur y del sudeste asiático, casi el 80% (4.5 millones de ha) del área arroceras del Brasil y el 75% del área arroceras del África. Casi todo el arroz en América Central se cultiva bajo condiciones de secano. El arroz de tierras bajas representa cerca del 50% (40 millones de ha) del área arroceras en Asia tropical. Otro 10% está constituido por arroces flotantes o de aguas profundas, sembrados en suelo seco y cultivados en condiciones de secano, corriendo el riesgo de sequía durante varias semanas antes de que ocurran las inundaciones. La escasez de agua también se presenta en muchos, sino en la mayoría, de los sistemas de riego del arroz. En consecuencia, el 90% del área arroceras mundial sufre de sequía en algún estado crítico de crecimiento.

Las variedades difieren considerablemente en su habilidad para sobrevivir y rendir cuando no hay suficiente humedad; sin embargo, este fenómeno es altamente complejo y puede involucrar varios mecanismos. Los científicos del IRRI han encontrado que los mecanismos de resistencia a la sequía en relación con las condiciones climáticas, edáficas y culturales son inherentemente diferentes y específicas para cada localidad. Su propósito es buscar mecanismos que funcionen en un sinnúmero de ambientes.

El programa de sequía del IRRI tiene tres objetivos principales:

- Comprender mejor las bases fisiológicas de la resistencia, tolerancia y recuperación de la sequía en relación con las diferencias varietales respecto a estos componentes;
- desarrollar y perfeccionar técnicas que permitan a los investigadores identificar rápidamente los diferentes componentes de resistencia a la sequía, cada uno de los cuales puede operar en un estado particular del crecimiento de la planta; y
- utilizar las técnicas apropiadas para evaluar la adaptabilidad de las líneas mejoradas e introducciones del banco de germoplasma a diferentes regímenes de agua.

### **Técnicas de selección por resistencia a la sequía**

Numerosas técnicas de diversos grados de complejidad pueden utilizarse para evaluar la resistencia a la sequía. Actualmente, el método más práctico es simplemente sembrar en el campo simulando el cultivo de secano o secano favorecido durante la estación seca. Las plantas pueden regarse en la época del establecimiento ya sea por aspersión o gravedad. El riego se suspende para someter las plantas a un período de escasez en el estado apropiado de crecimiento, el cual puede determinarse examinando los datos climatológicos de la región estudiada para las variedades en desarrollo.

En muchos suelos se requieren por lo menos dos semanas sin lluvia para que aparezcan diferencias marcadas en susceptibilidad a la sequía durante el estado vegetativo, y una semana durante el estado reproductivo. Los síntomas de sequía y la habilidad de recuperación después de aplicar agua de las líneas en prueba se evalúan en la época apropiada. En la evaluación se utiliza la escala del Sistema de Evaluación Estándar para Arroz.

Los resultados de estas pruebas en la estación seca deberán verificarse durante la estación lluviosa en condiciones naturales de sequía. Los científicos del IRRI han encontrado una buena correlación, pero ésta podría no ser válida para todas las localidades.

## **Germoplasma resistente a la sequía**

Introducciones del banco de germoplasma, así como también líneas mejoradas con algún grado de resistencia a la sequía, pueden solicitarse directamente al IRRI o a través del Programa de Pruebas Internacionales de Arroz (IRTP), especialmente del Vivero Internacional de Observación de Arroz de Secano (VIOAL-S). Los investigadores de áreas en donde la sequía es un problema grave deberían mantenerse al tanto de los trabajos realizados en el IRRI y otros centros de investigación.

## CAPITULO 10

# Tolerancia a la Temperatura

### Temperatura baja

Los científicos de los programas de arroz para regiones templadas han seleccionado por resistencia a temperaturas bajas durante décadas, y han producido variedades reconocidas hoy en día como de gran tolerancia a temperaturas bajas. Actualmente, muchos investigadores en los trópicos están concientes de la necesidad de incorporar a las variedades algún grado de tolerancia a temperaturas bajas, a fin de poderlas cultivar en áreas tropicales a grandes alturas y a nivel comercial en áreas subtropicales. Por lo tanto, la tolerancia al frío es considerada como un objetivo de mejoramiento muy importante tanto en el IRRI, que coopera con investigadores de Corea y Paquistán, como en el CIAT que trabaja con los programas nacionales en la zona costera de Perú, sur del Brasil, Argentina, Uruguay, Chile, Cuba y noroeste de Belice.

Hay disponibles muchas fuentes de tolerancia a temperaturas bajas. Las variedades japónicas del norte de Japón, Corea, Hungría, Italia y del occidente de los Estados Unidos tienen buena resistencia. Muchos arroces de tipo indica de altas latitudes provenientes de Nepal, India y las Filipinas son tolerantes al frío, y algunos del sur de los Estados Unidos tienen tolerancia moderada. Unas cuantas variedades tropicales tienen suficiente tolerancia como para cultivarlas con éxito hasta los 25 ó 30° de latitud. Una línea tropical, la IR12-178, se cruzó con la IR8, altamente susceptible al frío, para desarrollar la variedad CICA 4 que tiene tolerancia adecuada en varias áreas subtempladas. Cuando se requiere únicamente tolerancia moderada para áreas de producción de variedades índicas, las fuentes tolerantes índicas, como CICA 4, son más aconsejables que las japónicas resistentes debido a los problemas que se presentan en los cruzamientos de índicas x japónicas.

**PREVIOUS PAGE BLANK**

Los ciclos repetidos de selección natural a temperaturas bajas apropiadas, aparentemente se manifiestan en un avance progresivo y acumulativo hacia la tolerancia. La variedad Caloro, seleccionada en California en 1913 de una introducción japonesa, Early Wataribune, ilustra esta situación. La selección natural durante 60 años aumentó consistentemente la tolerancia de Caloro sin cambiar apreciablemente otras características varietales; Caloro posee ahora una excelente tolerancia al agua fría y plántulas sumamente resistentes.

La tolerancia al daño en una fase de crecimiento no está necesariamente relacionada con la tolerancia en otras. Aunque Caloro es altamente tolerante al frío en los estados de plántula y en el período vegetativo temprano de crecimiento, es susceptible a la esterilidad inducida durante la floración, presumiblemente por las temperaturas bajas. Otros materiales resisten las temperaturas bajas durante la floración y la maduración, pero son susceptibles durante la germinación y desarrollo de las plántulas.

La susceptibilidad se manifiesta de diversas formas en las diferentes fases de crecimiento, lo que indica que la evaluación del material únicamente en una fase no es suficiente. La temperatura baja retarda el crecimiento vegetativo. Las plántulas y las hojas inferiores, más viejas, a menudo se tornan de color naranja amarillento. No se observa prácticamente ejerción de las panículas, y éstas son parcialmente estériles. Las espículas o espiguillas superiores a menudo se degeneran y se ramifican formando estructuras blancas frágiles. La temperatura del aire de 15 a 19°C durante la meiosis en los microesporocitos causa una esterilidad alta de espiguillas. El período de maduración del material susceptible es irregular y prolongado. Las combinaciones diversas de temperaturas diurnas y nocturnas probablemente afectan diferentes estados vegetativos y la formación del grano.

La selección por tolerancia al frío depende de la época en que se presente el período frío durante el desarrollo del cultivo. En algunas áreas la temperatura baja ocasiona daño únicamente durante el crecimiento vegetativo, mientras que en otras afecta tan solo la inflorescencia. En los valles altos de Colombia, en donde la temperatura nocturna es moderadamente baja durante todo el año, se recomiendan las siguientes guías para la selección: desarrollo lento de plántulas, crecimiento retardado, florecillas estériles y degeneradas, ejerción incompleta de panículas y maduración tardía.

Es necesario hacer una selección rigurosa, siempre que sea posible, desde la F<sub>2</sub> hasta los ensayos de rendimiento, ya que lo usual es que los síntomas no se expresen claramente en todas las estaciones en la misma localidad.

Algunos síntomas, como crecimiento retardado, esterilidad parcial y maduración retrasada, no son suficientes para evaluar plantas individuales F<sub>2</sub>. En tales casos, comience la selección en la F<sub>3</sub> evaluando el material con base en líneas. La degeneración de las espiguillas terminales de la panícula en estructuras blancas frágiles, es un indicador indiscutible de susceptibilidad.

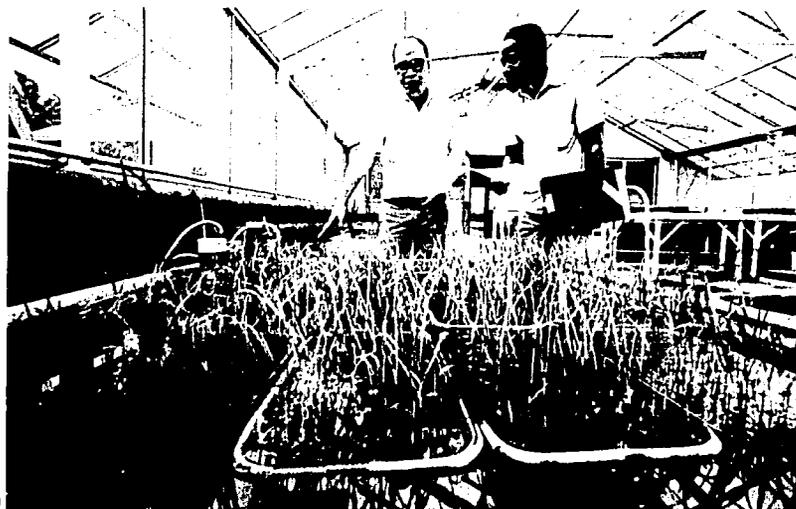
Los materiales de fitomejoramiento se evalúan más consistente y confiablemente en Japón y otras áreas templadas mediante la irrigación de los campos con agua fría durante la noche. En los trópicos, esto sería práctico únicamente en regiones altas. La resistencia se puede determinar acertadamente regulando la temperatura del aire en cámaras frías, pero el número de plantas es restringido. En California, el desarrollo en estado de plántula se evalúa exponiendo las plántulas de ensayos repetidos al agua fría en tanques.

En muchos países tropicales, la altitud varía lo suficiente para permitir localizar estaciones experimentales de mejoramiento en áreas calientes a fin de evaluar el material fuera de la estación. Evaluar la progenie de todas las selecciones en cada generación no es práctico, pero la evaluación de todas las líneas puras que entran a parcelas de observación suministraría información mucho más útil.

Las técnicas de evaluación para tolerancia a la temperatura baja dependen en su mayor parte de la situación local. El IRRI ha desarrollado una técnica artificial para seleccionar por tolerancia al agua fría, la cual consiste en colocar bandejas que contienen plántulas de siete días de edad en tanques con agua a una temperatura de 13°C durante 10 días (Fig. 1).

La selección en el campo es más conveniente para áreas que requieren tolerancia al agua fría. Si bien es imposible mantener una temperatura uniforme del agua en todo el vivero cuando éste es de tamaño apreciable, es relativamente fácil establecer un gradiente uniforme de temperatura, y corregir los resultados, a intervalos frecuentes, por medio de variedades testigo estándar apropiadas.

La selección para temperatura baja del aire es mucho más difícil porque ésta es impredecible e incontrolable, excepto con un equipo costoso de control ambiental. Sin embargo, la temperatura del aire es uniforme y puede ser manejada de tal suerte que se pueden probar fácilmente los materiales por tolerancia al frío utilizando variedades testigo apropiadas. Es probable que haya que ajustar las épocas de siembra a las prácticas locales de la finca para asegurar temperaturas efectivas de selección en el estado o estados apropiados de crecimiento.



*B.V. Vergara, fitopatólogo del IRRI (izquierda) y Alioune Coly, de Senegal, evalúan la tolerancia de las plántulas al agua fría.*

Los regímenes de temperatura varían de baja-alta-baja en las áreas templadas y subtempladas, a alta-baja-alta, en áreas subtropicales o boreales durante el invierno. En las regiones altas del trópico la temperatura es relativamente baja constante. Los factores locales climáticos y edáficos, junto con las condiciones específicas prevalecientes, crean muchas situaciones disímiles para el cultivo del arroz; por lo tanto, las técnicas de selección deben adaptarse a estas situaciones.

La clasificación por tolerancia es quizás el aspecto más crucial de las pruebas. Es esencial indicar la aceptación fenotípica a la madurez. Los materiales usualmente se clasifican con base en una escala de uno a nueve. Los puntajes de uno a tres muestran el potencial varietal en condiciones locales, en tanto que de siete a nueve significan que el material es completamente inadecuado. Otros datos tales como el grado de esterilidad y ejerción de las panículas, altura de la planta y capacidad de macollamiento son útiles pero no esenciales.

## **Temperatura alta**

Algunos investigadores de arroz han dirigido su atención recientemente a la tolerancia a temperaturas altas. Esto es sumamente importante en áreas donde las épocas tradicionales de siembra han sido cambiadas por los sistemas modernos de cultivo, quedando expuestas las plantas a las temperaturas excesivamente altas en ciertas fases críticas de crecimiento.

Se ha determinado que la fecundación, o anthesis, es el único estado de crecimiento durante el cual el arroz es sensible a temperaturas altas. Se desconoce el mecanismo exacto, pero la desecación del polen es probablemente el factor más importante. Las variedades difieren sustancialmente en su habilidad de soportar temperaturas altas en este estado crítico. En el IRRI, las variedades se evalúan colocando plantas en el estado de embuchamiento en el invernadero o fitotrón bajo un régimen de temperatura diurno y nocturno de 38 y 30° C, respectivamente.

Las variedades tales como Hoveyzeh del sur de Irán son fértiles a temperaturas superiores a 45° C, mientras que otras son completamente estériles. La herencia de la tolerancia a temperaturas altas aún no se ha investigado.