

# CAPÍTULO 11

## Mejoramiento del arroz de secano para América Latina

*Marc Châtel  
Elcio P. Guimarães  
Yolima Ospina  
César P. Martínez  
Jaime Borrero*

### Contenido

	Página
Resumen	191
Abstract	192
Introducción	192
Ecosistemas para el arroz de secano	193
Sabanas de América Latina	194
Limitantes principales del arroz de secano	196
Historia y objetivos del mejoramiento	196
Evaluación de germoplasma para el proyecto	197
Selección de progenitores	198
Hibridación y selección para crear variabilidad	199
Desarrollo de materiales segregantes	199
Recursos genéticos del CIRAD en América Latina	201
En los programas nacionales de mejoramiento	201
En variedades provenientes de cruces con variedades del CIRAD	203
Conclusiones	203
Agradecimientos	205
Referencias bibliográficas	205

### Resumen

Se analizan los ecosistemas para el arroz de secano de América Latina y el Caribe, las limitaciones que presentan para el cultivo del arroz, y los sitios donde se evalúan y seleccionan materiales genéticos de arroz de secano del Programa de Arroz del CIAT y del proyecto de cooperación con el Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo (CIRAD), de Francia. Se describen también las actividades de mejoramiento genético convencional desarrolladas por el CIAT desde 1981, y las que realizó el CIRAD desde 1996, es decir, desarrollo de poblaciones mediante la implementación del mejoramiento poblacional y su mejora mediante la selección recurrente. También se presentan algunos datos de los avances obtenidos. Como resultado de estos proyectos de

investigación se han desarrollado líneas de elevado potencial productivo y se han liberado nuevas variedades comerciales rápidamente adoptadas por los agricultores. Con ellas se han abierto nuevas fronteras agrícolas en los Llanos Orientales y en la costa norte de Colombia, se ha estimulado la producción del arroz de secano en Brasil y se han ofrecido alternativas al cultivo de arroz de secano en Bolivia.

## Abstract

### Improving upland rice for Latin America

The ecosystems for upland rice in Latin America and the Caribbean and their limitations for rice cultivation are analyzed. The sites where the CIAT rice program and the collaborative project that the Center carries out with the French Agricultural Research Centre for International Development (CIRAD) evaluate and select genetic materials for upland conditions are also described, as well as the conventional genetic improvement activities carried out by CIAT since 1981 and those carried out by CIRAD since 1996. These activities include population development through population improvement and recurrent selection. The advances made so far are reported. As a result of these research projects, lines have been developed that present high yield potential and new commercial varieties have been released that have been quickly adopted by farmers. This has allowed the opening of new agricultural frontiers in Colombia's Eastern Plains, and northern coast regions. In Brazil, the production of upland rice has been stimulated and, in Bolivia, alternatives to upland rice cultivation are being offered.

## Introducción

En América Latina y el Caribe (ALC) se produce arroz (ver **Introducción** de esta obra) en fincas medianas y grandes y aplicando diversos sistemas de producción, desde el cultivo intensivo con riego controlado (rinde 10 t/ha) al de secano muy extensivo, como en Brasil, o de pequeño agricultor (rinde 3 t/ha), como en América Central. Los factores principales que determinan la elección de uno u otro sistema son: el régimen de lluvias, el costo del riego, el tipo de suelo, la topografía del terreno y la infraestructura disponible.

Más del 70% del área sembrada con arroz en América Latina se cultiva en el sistema de secano. En el taller sobre arroz de secano reunido en Bouaké, Costa de Marfil, en octubre de 1982, se definió así ese cultivo:

*es el cultivo de arroz que depende exclusivamente de la lluvia, y que se siembra en suelos bien drenados, sin caballones o bordes, donde normalmente el nivel freático no aporta humedad al cultivo.*

Es una definición estricta que corresponde, en ALC, al secano no favorecido o al secano de sabana, y se aplica bastante bien a la mayor parte del área sembrada con arroz de secano. Una nueva definición ha sido introducida por el Instituto Internacional de Investigaciones sobre el Arroz (IRRI):

es el arroz que se desarrolla en condiciones aeróbicas ('aerobic rice').

Esta definición comprende el secano de tierras altas y bien drenadas, definido en la reunión de Bouaké, y el arroz cultivado en áreas donde los campos se inundan esporádicamente en ciertas épocas por causa de la precipitación intensa y de la estructura física del suelo.

La mayor parte del área cultivada con arroz de secano en ALC está en Brasil. El sistema tiene mucha importancia en América Central (gran parte del arroz producido allí viene del sistema de secano), en Colombia, en Venezuela y en Ecuador (extensas áreas dedicadas al sistema en estos tres países), y en Bolivia (casi todo su arroz es de secano).

En este capítulo se discuten brevemente los factores que limitan el cultivo del arroz de secano, los tipos de este arroz que existen actualmente, y los sitios donde el programa de arroz del CIAT y el proyecto de cooperación entre el Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo (CIRAD), de Francia, evalúan y seleccionan materiales genéticos de arroz de secano. Se describen también las actividades de mejoramiento genético convencional desarrolladas por el CIAT desde 1981, y las que realizó el proyecto de cooperación ya mencionado desde 1996, es decir, desarrollar poblaciones mediante la implementación del mejoramiento poblacional y mejorarlas mediante la selección recurrente (ver Capítulo 12 de esta obra). Se presentan también algunos datos de los avances obtenidos.

## Ecosistemas para el arroz de secano

El sistema de arroz de secano no es uniforme en ALC y, por ello, sus prácticas agronómicas y las limitantes de su producción son apenas similares en la región. Hay en ALC una diversidad de sistemas de arroz de secano que van desde los de productividad muy baja hasta los más productivos. Corresponden ellos, además, a ecosistemas donde el suelo, la pluviosidad y la distribución de las lluvias son muy variables.

Por consiguiente, la evaluación y la selección de material genético en un solo sitio no ofrecerían una solución a los problemas de todas las regiones productoras. Esta es la razón de que el programa de mejoramiento de arroz de secano del CIAT colabore con diferentes países e instituciones, principalmente Brasil, Bolivia, Colombia, Cuba, Nicaragua y Venezuela.

Las actividades de mejoramiento genético del arroz de secano del CIAT se desarrollan en Colombia en dos sitios considerados representativos de las principales regiones productoras de América Latina:

- Para **arroz de secano de sabana:** en la estación experimental *La Libertad* (LL), de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). La terraza alta del suelo de esta estación, cerca de Villavicencio, departamento del Meta, pertenece a un ecosistema de sabana muy favorecido en cuanto a las lluvias, pero con suelos (Oxisoles) de mucha acidez, alta saturación de aluminio y baja fertilidad.
- Para **arroz de secano favorecido:** en la estación experimental *Santa Rosa* (SR), situada también cerca de Villavicencio; representa un ecosistema altamente favorecido, y allí se hacen investigaciones que benefician a los Llanos Orientales de Colombia y a otras regiones de ecología similar. La distribución de las lluvias y su cantidad total en el año son adecuadas, y la fertilidad del suelo es buena.

Durante los primeros años del proyecto, se trabajó en otro sitio de selección fuera de Colombia: en Río Hato, una estación experimental del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá (IDIAP), que pertenece a un ecosistema menos favorecido que los

anteriores en cuanto a la distribución y cantidad de lluvias y a la fertilidad del suelo, pero sin problemas de acidez.

Los análisis de suelos (Cuadro 1) indican que en LL el pH es muy ácido, el contenido y el porcentaje de saturación de aluminio son altos, y la capacidad de retención de agua de los suelos es muy baja. En ambas estaciones (LL y SR), la precipitación total es de alrededor de 2800 mm/año y está bien distribuida durante la vida del cultivo (Cuadro 2). La presión de enfermedades severas es alta en ambas estaciones: predominan allí la piricularia, el virus de la hoja blanca, el escaldado de la hoja y el manchado del grano, entre otras.

Una diferencia fundamental de los dos sitios, observada en los primeros años de evaluación, fue la distribución de los linajes del hongo *Pyricularia grisea* Sacc. En LL predomina el linaje SRL-6, típico de las regiones de Colombia en que se

cultivan arroz con riego y arroz de secano favorecido; este concepto de linajes fue desarrollado por Levy et al. en 1993. En la Altillanura, el linaje más frecuente es ALL-7, típico del cultivo de las sabanas (Correa-Victoria et al., 1994). Un ejemplo del manejo agronómico que se da a los suelos ácidos de las parcelas de selección en la LL se describe en el Cuadro 3.

La adaptación de los materiales a las condiciones locales en los países de la región latinoamericana se logra mediante una red de distribución y evaluación de ese germoplasma, ya sea en generaciones precoces o avanzadas (o en ambas), manejada entre el proyecto y las instituciones de los países de la región.

## Sabanas de América Latina

El ecosistema de sabanas ocupa el área subutilizada más grande del continente

**Cuadro 1.** Análisis del suelo de las estaciones LL y SR, dos sitios en que se realizan los trabajos de mejoramiento genético del proyecto CIRAD/CIAT.

Sitio <sup>a</sup>	M.O. (%)	P Bray II (ppm)	pH	Contenido (meq/100 g)									Sat. Al (%)
				Al	Ca	Mg	K	C.I.E.	B	Zn	Fe	Cu	
EELL	4.1	7.9	4.4	3.0	0.28	0.17	0.13	3.91	0.32	0.9	118	0.44	72.4
EESR	2.3	16.1	5.1	0.8	2.9	0.20	0.18	3.73	0.20	1.5	38	1.8	-

a. EELL = Estación Experimental La Libertad, en Villavicencio, Colombia.

EESR = Estación Experimental Santa Rosa, en Villavicencio, Colombia.

**Cuadro 2.** Datos climáticos del período de cultivo del arroz en las estaciones LL y SR, donde se hace el trabajo de mejoramiento genético de las líneas de secano (promedio varios años).

Variable climática	Dato en el mes						
	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Total
Precipitación (mm)	252.0	454.5	242.5	268.5	257.2	381.0	1855.7
Días de lluvia (no.)	11	15	11	15	10	9	71
Temperatura máxima (°C)	30.9	30.3	30.3	28.6	30.9	31.7	-
Temperatura mínima (°C)	21.2	20.2	20.3	20.1	20.3	20.3	-
Humedad relativa (%)	68.6	101.7	75.2	78.5	69.9	74.6	-

**Cuadro 3.** Manejo agronómico de las parcelas experimentales en la estación LL.

Práctica y actividades	Dosis (kg/ha)	Ejecutado en:
<b>Preparación del suelo</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pase de cincel cruzado</li> <li>• Pase de rastra</li> <li>• Aplicación de cal dolomítica (fertiliza con Ca y Mg) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se incorpora con rastra a baja traba</li> </ul> </li> </ul>		Nov.-Dic. Marzo Marzo
<b>Siembra de variedades esparcidoras de inóculo</b> Para hacer evaluación de enfermedades; se dispone perpendicularmente al material sembrado <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta densidad de semilla de la mezcla de variedades</li> <li>• Fertilización <ul style="list-style-type: none"> <li>- Superfosfato triple (<math>P_2O_5</math>)</li> <li>- Cloruro de potasio (<math>K_2O</math>)</li> <li>- Sulfato de zinc</li> <li>- Urea</li> </ul> </li> </ul>	300  60 60 5 600-800	Marzo
<b>Fertilización antes de la siembra (presiembr)</b> Se incorpora con pase de rastrillo <ul style="list-style-type: none"> <li>• Superfosfato triple (<math>P_2O_5</math>)</li> <li>• Cloruro de potasio (<math>K_2O</math>)</li> </ul>	70 35	Abril
<b>Siembra del material del ensayo</b>		Abril
<b>Fertilización después de la siembra (post-siembr)</b> Se aplica en tres tiempos: 20, 35 y 45 días después de la siembra <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cloruro de potasio (<math>K_2O</math>)</li> <li>• Urea (también en tres aplicaciones)</li> </ul>	35 80	Mayo-Junio
<b>Control de malezas</b> Con productos agroquímicos		Abril-Mayo

latinoamericano (Cole, 1986). Son 180 millones de hectáreas en el Cerrado de Brasil, 17 en los Llanos Orientales de Colombia, 28 en los Llanos de Venezuela, 4 en Guyana y 4 en Bolivia.

En general, los *suelos* de este ecosistema son Oxisoles y Ultisoles, que son muy ácidos, tienen una alta saturación de aluminio (Al), y son deficientes en calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P), potasio (K), azufre (S) y zinc (Zn). Tienen buena estructura física, buen drenaje y buena profundidad efectiva, pero son muy frágiles y muy susceptibles de deterioro cuando se les da un manejo

inadecuado. Su topografía es, en general, plana con pendientes entre 1% y 3%.

En el Piedemonte colombiano, la *precipitación* promedio durante 20 años (1970-1990), registrada en LL, ha sido de más de 1700 mm entre abril y agosto; mayo es el mes de mayor precipitación (428 mm). En la finca Santa Cruz, a 1 km de la finca Matazul (localidad donde se hicieron evaluaciones del programa de mejoramiento), en la Altillanura colombiana, los registros de precipitación anual van de 227 mm en abril a 453 mm en septiembre. La temperatura del Piedemonte oscila entre 21 y 33 °C y su humedad relativa es de alrededor de

80% durante el tiempo de cultivo del arroz. La precipitación disminuye hacia el oriente, donde se extiende la gran planicie de los Llanos.

Estas características o similares se repiten en los Llanos de Venezuela y en gran parte de los Cerrados de Brasil; en esta última región, el período lluvioso va de octubre a marzo. En general, el ecosistema de sabanas presenta muchas similitudes en diferentes sitios, y permite ver el mejoramiento del arroz que se cultiva en suelos ácidos como un trabajo amplio y aplicable a la mayoría de las zonas arroceras, potenciales y presentes, de América Latina.

## Limitantes principales del arroz de secano

Los factores que limitan el arroz son más intensos en el sistema de secano que en el sistema con riego, porque en éste la inundación permanente elimina la sequía, aumenta la disponibilidad de algunos nutrientes, disminuye las deficiencias nutricionales, reduce las pérdidas de nitrógeno y facilita el control de las malezas. También reduce la incidencia y la severidad de ciertas enfermedades fungosas, como *Pyricularia oryzae*, *Rhynchosporium oryzae* (escaldado de la hoja), manchado del grano y otras plagas.

En casi todos los países productores de arroz de secano de América Latina se han identificado tres grandes limitantes de la producción del cereal:

- De tipo **agronómico**, como el control de malezas y del arroz rojo, las épocas y los métodos de fertilización, la cantidad de fertilizantes que conviene aplicar, las fechas y los métodos de siembra, y los tiempos y métodos de preparación del suelo.
- De tipo **sanitario y fisiológico**, como la falta de resistencia estable y

duradera a piricularia, y la falta de tolerancia al estrés debido a factores del suelo y a la escasez de agua (en variedades de rendimiento alto).

- De tipo **sanitario localizado**, como la presencia de enfermedades menos diseminadas que la piricularia, las cuales ocasionarían grandes pérdidas en localidades específicas, como el escaldado de la hoja (*R. oryzae*), el manchado o decoloración del grano (causado por varios patógenos) y el virus de la hoja blanca; asimismo, la presencia de plagas como *Tagosodes oryzicolus*, las chinches del grano y los barrenadores del tallo.

## Historia y objetivos del mejoramiento

El mejoramiento del arroz que se cultiva en las sabanas de suelos ácidos ha sido parte del programa de arroz del CIAT desde 1981. Diez años más tarde (1991), el CIAT estableció una alianza con el CIRAD, centro que había adquirido una larga experiencia en el desarrollo de variedades de arroz de secano tanto en África occidental (desde los años 60) como en Brasil, país donde desarrolló (de 1981 a 1991) un proyecto colaborativo de mejoramiento con el Centro de Arroz e Feijão de Embrapa. El CIAT y el proyecto CIRAD/CIAT se concentraron en los ecosistemas de secano que han sido favorecidos principalmente por las lluvias.

Se desarrolló luego una *estrategia de mejoramiento* que comprendía los siguientes aspectos: los objetivos del proyecto, el germoplasma disponible, la posibilidad de poner en práctica nuevos métodos de mejoramiento, la capacidad de los programas nacionales interesados en esa tecnología, y la disponibilidad de los recursos.

El *objetivo central* del proyecto, para el ecosistema mencionado, es desarrollar líneas que tengan las siguientes características: tolerancia de los suelos ácidos, resistencia a varias enfermedades (en especial, la causada por el hongo *Pyricularia grisea* Sacc.) y a varias plagas (en particular, a *Tagosodes oryzae*), precocidad (ciclo de cultivo de cerca de 100 días), buen tipo de grano y un potencial de rendimiento alto.

Los objetivos del proyecto, tanto para otros ecosistemas de secano favorecido como para el de sabana, se resumen en el Cuadro 4 y están relacionados con los requerimientos de las variedades de arroz de secano.

## Evaluación de germoplasma para el proyecto

El plan de este proyecto de mejoramiento fue el siguiente:

- Comenzar con la evaluación de materiales segregantes y de líneas

avanzadas provenientes del programa de mejoramiento de arroz con riego del CIAT.

- Trabajar, simultáneamente, en la introducción, la colección y la evaluación de variedades de arroz de secano, con las cuales iniciaría más tarde una etapa de hibridación para crear nueva variabilidad.
- Iniciar, en 1992, como proyecto CIRAD/CIAT, el mejoramiento convencional, aplicándose, desde 1995, a la creación de poblaciones 'multiparentales' y a su mejoramiento por selección recurrente (ver Capítulo 12 de esta obra).

Las experiencias de los programas de mejoramiento del IITA (Nigeria) y del IRAT (Costa de Marfil) indican que el *tipo de planta enano* (o semienano), de buen macollamiento, y de raíces delgadas, abundantes y superficiales —que es muy apropiado para el cultivo con riego y para el de secano muy favorecido— no es apto para los suelos de sabana. Los experimentos hechos durante varios

**Cuadro 4.** Características deseables en las variedades que se mejoran para las condiciones de secano favorecido y de secano de sabana.

Para secano favorecido	Para secano de sabana
1. Buen vigor, estatura de semienana a intermedia	1. Tipo de planta intermedio
2. Resistencia al vuelco	2. Crecimiento inicial vigoroso; macollamiento intermedio
3. Ciclo vegetativo de 110 a 130 días	3. Ciclo vegetativo de 100 a 130 días
4. Buen potencial de rendimiento (de 4 a 6 t/ha)	4. Buen potencial de rendimiento (de 4 a 6 t/ha)
5. Resistencia estable a piricularia	5. Resistencia estable a piricularia
6. Tolerancia de las otras enfermedades	6. Tolerancia de las otras enfermedades
7. Resistencia a <i>Tagosodes oryzae</i> y al virus de la hoja blanca	7. Resistencia a <i>T. oryzae</i> y al virus de la hoja blanca
8. Tolerancia de problemas del suelo	8. Tolerancia de la acidez del suelo y de la toxicidad debida al aluminio
9. Buen desarrollo de las raíces	9. Raíces gruesas y profundas
10. Grano de tipo largo y fino, pesado y con porcentaje de amilosa intermedio	10. Grano de tipo largo y fino, pesado y con porcentaje de amilosa intermedio
11. Alta fertilidad de las espiguillas	11. Alta fertilidad de las espiguillas

semestres en las condiciones de sabana de la LL han confirmado ese resultado.

Las actividades se iniciaron con la evaluación de alrededor de 1200 cultivares —entre los que había líneas mejoradas, variedades nativas y materiales tradicionales introducidos de Brasil, de los centros internacionales de investigación agrícola (IRRI, IRAT e IITA), y de algunos programas nacionales— con el fin de identificar el *germoplasma adecuado* para iniciar un programa de mejoramiento. Se aplicó un diseño de campo de ‘franjas ácidas’ que consta de dos bandas, una de alta acidez y otra de baja acidez. Esta última se obtuvo aplicando 3 t/ha de cal dolomítica 15 días antes de la siembra, lo que aumentó el pH del suelo y neutralizó su exceso de aluminio; la banda de acidez alta no recibió cal. Los datos del ensayo obtenidos en la LL indican lo siguiente:

- Los materiales muestran buena adaptación, buen tipo de planta y un potencial de rendimiento moderado

en suelos de sabana; también toleran la toxicidad debida al aluminio (Cuadro 5).

- Las variedades IRAT 120, IRAT 121, IRAT 122, IRAT 123, IRAT 124 y la línea Colombia 1/M312A (IRAT 216) son bastante resistentes al virus de la hoja blanca; este resultado provino de estudios hechos en la estación CIAT-Palmira.

Con estos materiales se constituyó un germoplasma más ajustado al nivel de calidad exigido por el proyecto, tolerante de enfermedades, con el potencial de rendimiento deseado y adaptado a suelos ácidos e infértiles. Se identificaron luego posibles progenitores para hacer cruces con otros materiales, creando así nueva variabilidad.

### Selección de progenitores

La selección de los progenitores es, sin duda, la etapa más importante de cualquier proyecto de mejoramiento, porque su resultado final (las nuevas variedades) depende del contenido

**Cuadro 5.** Líneas avanzadas del programa de mejoramiento del CIAT en 1984, que demostraron buena adaptación a los suelos de sabana en la estación LL.

Línea	Origen	
	Institución	País
Tox 891-212-2-102 Tox 1010-22-7-1B Tox 1010-49-1 Tox 1815-34-201-201-1 Tox 1780-5-7 Tox 1781-15-1	IITA	Nigeria
IRAT 194-1-2-B IRAT 146 Colombia 1/M312A (IRAT 216)	CIRAD (IRAT)	Costa de Marfil
IRAT 122	CIRAD (IRAT)	Madagascar
IAC 164 IAC 5032	IAC Campinas	Brasil
IAC 25/PJ-110-99-1-4-1 OS6/IRAT 13-A1-1CM-1JM	INIA	México

genético de los progenitores y de sus recombinaciones.

### **Vivero de progenitores posibles**

El germoplasma disponible se evalúa cada año respecto a las características prioritarias del proyecto. De este material se escoge el que tenga mayor potencial, y éste se evalúa más detalladamente en los años siguientes. Las introducciones son originarias, generalmente, de Brasil, Filipinas y Costa de Marfil; de éstas se eligen las líneas tolerantes de suelos ácidos y de piricularia, cuyo ciclo esté entre 80 y 120 días, de buenas características agronómicas, y de buen potencial de rendimiento. Estos mismos parámetros sirven para seleccionar materiales en las generaciones segregantes. La información derivada de estas pruebas se combina, y con ella se seleccionan los progenitores que participarán en los cruzamientos que ofrezcan el mejor pronóstico.

En la *evaluación agronómica* de estos materiales se miden los parámetros exigidos por los estándares internacionales (IRRI, 1988), que son los siguientes (dds = días después de la siembra):

- reacción a piricularia de la hoja a los 30, 37 y 42 dds;
- vigor a los 45 y 60 dds;
- reacción a la acidez a los 45 y 60 dds;
- helmintosporiosis y escaldado de las hojas al momento de la floración;
- número de días desde la siembra hasta el 50% de la etapa de floración;
- reacción a piricularia del cuello de la panícula, 30 días después de la floración;
- altura de las plantas en la fase de maduración;
- manchado del grano en la maduración;
- tipo de planta descrito en todas las etapas del crecimiento;
- tipo de grano.

Para evaluar la tolerancia del suelo ácido, se aplicó el método de las franjas ácidas (ver antes) cuyo fin es identificar las líneas que tengan un comportamiento similar en las dos franjas. Se hace seguimiento a la prueba de acidez sembrando un testigo susceptible (CICA 8).

### **Hibridación y selección para crear variabilidad**

La hibridación controlada y la selección, dos métodos convencionales de mejoramiento, permiten crear variabilidad genética. El éxito de ambos trabajos depende del buen conocimiento que debe tener el fitomejorador de los progenitores que maneja, lo que le permite decidir la clase de cruzamientos que tiene más probabilidad de producir los resultados deseados.

Se combinan los progenitores que poseen, en general, buenas características agronómicas, aunque sean deficientes en uno u otro carácter. Ahora bien, conseguir progenitores que sean complementarios para todas las características deseables es una tarea prácticamente imposible; por tanto, el objetivo de esta etapa del trabajo es combinar padres que produzcan segregantes que, se supone, cumplirán los principales objetivos del programa de mejoramiento.

### **Desarrollo de materiales segregantes**

El flujo de estos materiales segregantes, que se desarrollan por el método genealógico, fue resumido por Guimarães et al. en 1995; en este capítulo se describen las etapas de ese flujo.

#### **Generaciones impares ( $F_1$ , $F_3$ , $F_5$ y $F_7$ )**

Corresponden a un avance de generación en el proceso de fijación génica, avance que se lleva a cabo en la segunda época de cultivo del año. El trabajo con estas

generaciones comprende los siguientes pasos:

- Se hace en ellas una *selección de baja intensidad* respecto a características de alta heredabilidad (tipo de grano, duración del ciclo de cultivo, tipo de planta, etc.).
- En las generaciones más avanzadas ( $F_5$  y  $F_7$ ), este proceso sirve también para *incrementar la semilla* que se necesitará en el análisis de calidad (por tamaño del grano, centro blanco, temperatura de gelatinización y contenido de amilosa) y en las futuras siembras multilocales.
- La generación  $F_7$  es un caso especial: en ella, los materiales son *casi homocigotos* y están listos para las pruebas de rendimiento y para ser distribuidos a los programas nacionales. Se hace una *multiplicación* con la intención de obtener 10 kg de cada material, parte de los cuales se destina a las pruebas de molinería.

Los materiales seleccionados en esta última generación se incluyen en los ensayos preliminares de rendimiento, y se agrupan en los Viveros Internacionales de Observación (CIAT-ION).

### **Generaciones pares ( $F_2$ , $F_4$ , $F_6$ y $F_8$ )**

Estas generaciones se siembran en la estación LL para evaluarlas bajo condiciones de suelos ácidos.

- En la  $F_2$  se siembran de 3000 a 5000 plantas por cruzamiento, en surcos, con baja densidad de siembra para individualizar las plantas durante todo su desarrollo. Se *seleccionan plantas individuales* según las siguientes características: resistencia a enfermedades, precocidad, buen tipo de grano, altura de planta intermedia, y tipo de planta que compita bien con las malezas y tenga un alto potencial de rendimiento. Puesto que algunos de

estos caracteres son de baja heredabilidad, esta selección busca desarrollar líneas para la evaluación que se hará en las generaciones siguientes.

- Las generaciones  $F_4$  y  $F_6$  se siembran en parcelas de dos surcos de 5.0 m, trazados a 0.26 m uno de otro, y con baja densidad de siembra (en particular, en la  $F_4$ ). Se seleccionan las *mejores líneas* según los datos obtenidos de las observaciones, y entre ellas se seleccionan algunas plantas individuales.

### **Ensayos de comportamiento**

En la etapa final del desarrollo de los materiales antes descritos se intenta conocer su comportamiento en parcelas de mayor tamaño y con mayor precisión estadística. Se hacen, por tanto, tres tipos de ensayos en diferentes localidades: de observación, preliminares, y avanzados (respecto al rendimiento). Se analizan primero en esta etapa los datos de plantas individuales y luego se combina esta información.

Las líneas de mayor potencial se entregan a la institución nacional de investigación que las solicite, para que sean evaluadas a nivel regional; las que satisfacen allí los requisitos locales pueden recomendarse como variedad comercial.

### **Vivero Internacional de Observación**

El proyecto de mejoramiento genético del arroz de secano pertenece al ámbito regional de las sabanas de suelos ácidos de América Latina; por consiguiente, los materiales de las generaciones avanzadas que hayan alcanzado un alto nivel de homocigosis se incorporan a viveros similares a los de la Red Internacional para la Evaluación Genética del Arroz (INGER) cultivado con riego (en América Latina, esta Red se denominó INGER-LAC). Esos viveros se distribuyeron a

varios países; entre ellos, Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Guatemala, Nicaragua y Venezuela.

Una vez introducido el germoplasma a través de los viveros de observación, el programa nacional de mejoramiento de arroz de cada uno de los países mencionados inició el manejo de ese germoplasma según sus prioridades y frente a las limitantes locales. El objetivo final del vivero es que algunos materiales sean liberados como variedades comerciales o utilizados localmente como progenitores en los cruzamientos que se planeaban.

### **Liberación de variedades**

Las etapas descritas anteriormente son la 'receta de cocina': seguidas con exactitud, terminan en un plato exquisito, es decir, en las nuevas y mejores variedades comerciales que se entregan a los agricultores para que las adopten y las cultiven. La adopción de estas variedades, que son un éxito para el mejoramiento genético del arroz, permite medir el impacto real de un proyecto de mejoramiento.

El material generado en el proyecto es evaluado continuamente y los importantes resultados obtenidos en esa evaluación le han permitido al proyecto producir líneas adaptadas a las sabanas de suelos ácidos en Bolivia, Brasil y Colombia. La evaluación de líneas avanzadas, que se hace en colaboración con las instituciones locales, y el intercambio de germoplasma con otros países han permitido liberar numerosas variedades, entre ellas las siguientes:

- En Colombia se liberaron las tres primeras; dos de ellas se adaptaron a los suelos ácidos de la Altillanura plana de los Llanos Orientales y permitieron establecer sistemas agropastoriles en esa región; son las siguientes:

- **Oryzica Sabana 6**, liberada en 1991 (Leal et al., 1991) y
- **Oryzica Sabana 10**, liberada en 1996.

La tercera variedad fue recomendada a los pequeños agricultores de la costa norte del país para incrementar el rendimiento del arroz a nivel local y para disponer allí de un grano de mejor calidad; es la siguiente:

- **Oryzica Turipaná 7**, liberada en 1992 (Rivera et al., 1992).

- En Brasil y en Bolivia se liberaron numerosas variedades.
- En América Latina: una recopilación de las variedades lanzadas en esta región se presenta en la siguiente sección del capítulo.

Continúa actualmente el trabajo de aplicar el método de mejoramiento de poblaciones mediante la selección recurrente (ver Capítulo 12 de esta obra), el cual permitirá la creación de nueva variabilidad genética, su selección y la entrega de nuevas variedades comerciales a los agricultores.

## **Recursos genéticos del CIRAD en América Latina**

El impacto de los recursos genéticos de arroz del CIRAD ha sido grande en América Latina. Durante los últimos 23 años (1982-2005) fueron puestas a disposición de los agricultores de la región latinoamericana 31 nuevas variedades, principalmente para las áreas de secano.

### **En los programas nacionales de mejoramiento**

Las variedades del CIRAD (Châtel y Guimarães, 2003) fueron introducidas por el CIAT mediante las redes del INGER global o directamente en la relación bilateral establecida entre los países y el

CIRAD. Estas variedades fueron utilizadas como progenitores por diferentes instituciones (INGER-América Latina, 1991; Martínez et al., 1995).

### **Brasil**

Tres centros nacionales de investigación agrícola mantienen programas de mejoramiento genético del arroz: Embrapa-Centro de Arroz e Feijão; IAC Campinas-Centro de Investigación del Estado de São Paulo; y Embrapa-Centro de Terras Baixas del Estado de Rio Grande do Sul. Las tres instituciones emplearon, en total, 53 variedades del CIRAD.

- **Embrapa-Centro de Arroz e Feijão.** Esta institución empleó la mayoría de esas variedades (50) en 511 combinaciones, 284 veces como progenitor femenino y 227 veces como progenitor masculino. Esta cifra indica que la colaboración desarrollada durante el período 1981-1991 por el proyecto Embrapa/CIRAD de mejoramiento genético de arroz de secano fue intensa.
- **IAC Campinas.** Empleó 8 de las 50 variedades manejadas por Embrapa-Arroz e Feijão. Con ellas se hicieron 77 cruzamientos; en 10 de ellos, las variedades fueron progenitor femenino y en los 67 restantes fueron progenitor masculino.
- **Embrapa-Centro de Terras Baixas.** Este centro empleó 3 variedades del CIRAD, 2 de las cuales eran diferentes de las usadas por los otros dos centros. Se hicieron 15 cruzamientos, en los que la variedad del CIRAD fue siempre progenitor masculino. Sólo se usaron tres variedades porque este Centro trabaja en mejoramiento del arroz con riego cultivado en clima templado/subtropical) y las variedades del CIRAD están adaptadas a las condiciones de secano de los trópicos.

Las variedades del CIRAD más usadas en Brasil fueron: CIRAD 2, CIRAD 13, CIRAD 101, CIRAD 112, CIRAD 177, CIRAD 195, CIRAD 216 y CIRAD 257. Tienen buen potencial de rendimiento, buen tipo de planta y son precoces, características que justifican su empleo masivo en un programa de cruzamientos.

### **Colombia**

Durante el período 1967-1983, los cruzamientos de arroz eran definidos y realizados mediante acuerdo entre el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y el CIAT. En los años siguientes se emplearon 16 variedades del CIRAD en 1092 combinaciones, 703 veces como progenitor femenino y 389 veces como progenitor masculino. Las variedades del CIRAD más usadas en Colombia fueron: CIRAD 8, CIRAD 13, CIRAD 120, CIRAD 121, CIRAD 122, CIRAD 124 y CIRAD 216.

La serie 120 de CIRAD, seleccionada en Madagascar, se usó mucho. Las variedades de esta serie fueron consideradas fuente de resistencia al virus de la hoja blanca (VHB), aunque en Madagascar, donde fueron seleccionadas, no existe este virus. Sin embargo, el CIAT identificó una fuente de resistencia al virus proveniente de Makalioka 34, una variedad cultivada en la región del Lago Alaotra. La serie 120 del CIRAD tiene como progenitor a Makalioka, el cual transmitió su resistencia a la enfermedad mencionada a su descendencia moderna mejorada.

### **México**

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) empleó 17 variedades del CIRAD en 277 cruzamientos.

### **Perú**

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Agroindustriales (INIAA) empleó 8 variedades del CIRAD en 74 cruzamientos.

## **Ecuador**

Fueron empleadas 3 variedades del CIRAD en 15 cruzamientos.

## **En variedades provenientes de cruces con variedades del CIRAD**

Las variedades del CIRAD utilizadas por los programas nacionales han permitido obtener (mediante cruzamientos) líneas promisorias, y algunas de ellas han sido oficialmente recomendadas como cultivares (Cuadro 6).

El proyecto de colaboración entre Embrapa-Centro de Arroz e Feijão y el CIRAD hizo el mayor impacto. En 1991 se clausuró este proyecto, pero los resultados obtenidos se trasladaron al nuevo proyecto de colaboración entre el CIAT y el CIRAD, del cual Brasil sigue siendo 'cliente privilegiado' en la investigación de arroz para el sistema de secano. Las líneas y variedades del CIRAD seleccionadas y difundidas en América Latina son las siguientes:

### **Brasil**

Durante el período 1986-2004 fueron lanzadas 15 líneas de secano, de las cuales 8 fueron seleccionadas por el proyecto Embrapa/CIRAD y 6 por el proyecto CIRAD/CIAT.

- **Líneas Embrapa/CIRAD.** Los resultados obtenidos por este proyecto entre 1981 y 1991 se resumen en la selección y liberación de ocho variedades modernas que se cultivan en el Cerrado brasileño (Châtel et al., 1982-1991). Sartori et al. (1995) describen, como ejemplo, la liberación de una variedad.
- **Líneas CIRAD/CIAT.** Durante el período 1992-2002, el 67% de las variedades de arroz de secano lanzadas en Brasil eran descendientes de cruzamientos hechos en el CIAT con variedades del CIRAD,

seleccionados por el proyecto CIRAD/CIAT, y adaptados a las condiciones de Brasil (Châtel et al., 1992-1995).

### **Colombia: líneas CIAT y CIRAD/CIAT**

Durante el período 1989-2002 fueron liberadas cinco variedades cuyos progenitores eran variedades del CIRAD: de ellas, dos fueron desarrolladas por el CIAT para variedades de arroz con riego; para el ecosistema de sabana, dos fueron desarrolladas por el CIAT (Leal et al., 1991; Rivera et al., 1992) y una por el proyecto CIRAD/CIAT.

### **Bolivia: líneas del CIAT**

Tres variedades desarrolladas por el CIAT, cuyos progenitores eran variedades del CIRAD, fueron lanzadas en Bolivia para áreas con condiciones de secano favorecido (CIAT-Santa Cruz, 1994a y 1994b; Guzmán, 1995).

### **Guatemala: líneas del CIAT**

Tres líneas desarrolladas por el CIAT y con progenitores del CIRAD fueron lanzadas en este país.

### **Difusión directa de las variedades del CIRAD**

Cinco de estas variedades se adaptaron a las condiciones locales de cultivo y fueron liberadas como variedades comerciales en Bolivia y en Brasil (Cuadro 7).

## **Conclusiones**

El mejoramiento genético convencional de arroz de secano para ALC ha estado a cargo del CIAT (1981-1996) y del proyecto CIRAD/CIAT (1992-fecha actual) y ha dado muchos resultados relevantes, los cuales han permitido a los países de América Latina fortalecer tanto su investigación local como su sector arrocero.

**Cuadro 6.** Difusión de variedades provenientes de cruzamientos con germoplasma del CIRAD.

Variedad de secano	Lanzada en:	Progenitor(es) CIRAD
Brasil: Cruces EMBRAPA/CIRAD		
Rií Paranaíba	1986	IRAT 2
Centro América	1987	IRAT 2
Guarani	1987	IRAT 2
Guaporé	1988	IRAT 13
Tângara	1989	IRAT 13
Douradão	1989	IRAT 2
Xingu	1989	IRAT 13
Primavera	1997	IRAT 10
Brasil: Cruces CIRAD/CIAT		
Progreso	1993	IRAT 124 e IRAT 216
Canastra	1995	IRAT 122
Maravilha	1995	IRAT 121 e IRAT 216
Bonança	1999	IRAT 124 e IRAT 216
Carisma	1999	IRAT 124 e IRAT 216
Talento	2002	IRAT 124 e IRAT 216
Curinga	2004	IRAT 13, IRAT 124 e IRAT 216
Colombia: Cruces CIAT y CIRAD/CIRAD		
Oryzica Sabana 6	1992	IRAT 216
Oryzica Aabana 10	1996	IRAT 124 e IRAT 216
Línea 30 (CIRAD 409)	2005	IRAT 124, IRAT 146 e IRAT 216
Variedades para riego		
Oryzica Llanos 4	1989	IRAT 122
Progreso 4-25	2000	IRAT 120
Bolivia: Cruces CIAT		
Para secano favorecido		
Sacia-1 (Tacu)	1993	IRAT 216
Sacia-3 (Tutuma)	1994	IRAT 124 e IRAT 216
Sacia-4 (Jisumu)	1994	CIRAD 124 e CIRAD 216
Guatemala: Cruces CIAT y CIRAD/CIRAD		
Icta Izabal	1996	IRAT 122 e IRAT 216
Masagua	2000	IRAT 122
Oasis	2000	IRAT 121

Se han desarrollado líneas de elevado potencial productivo y se han liberado nuevas variedades comerciales rápidamente adoptadas por los agricultores. Con ellas se han abierto nuevas fronteras agrícolas en los Llanos

Orientales y en la costa norte de Colombia, se ha estimulado la producción del arroz de secano en Brasil, y se han ofrecido alternativas al cultivador de arroz de secano en Boliva.

**Cuadro 7.** Difusión directa de variedades del CIRAD.

Variedad de secano CIRAD	Nombre local	Lanzada en:
En Brasil		
IRAT 190	IREM 16 B	1982
IRAT 177	Cabaçu	1988
IRAT 216	Rio Verde	1991
En Bolivia		
Para pequeños productores		
IRAT 170	Jasaye	1999
IRAT 357	Jacuú	2002

## Agradecimientos

Los autores expresan un sincero agradecimiento al Dr. Surapong Sarkerung, Fitomejorador del programa de arroz del CIAT de 1984 a 1990, y a los asistentes y asociados de investigación Argemiro Moreno, Eliseo Nossa, Ana Lilia Alzate, René H. Aguirre (q.e.p.d.) y Constanza Huertas, ingenieros agrónomos del CIAT, por su dedicación al cumplimiento de la estrategia propuesta y su apoyo en la realización de las actividades requeridas.

## Referencias bibliográficas

- Châtel, M.; Guimarães, E.P. 2003. International partnership for rice improvement in Latin America: CIRAD, a case study. Sociedad Brasileira de Melhoramento de Plantas. Crop Breeding and Applied Biotechnology 165.
- Châtel, M.; Guimarães, E.P.; Morais, O.P. de; Peixoto, O.; Castro, E.M. de. [1982-1991]. Relatorios anuales do projeto de colaboração EMBRAPA/IRAT-CIRAD. [p.v.]
- Châtel, M.; Guimarães, E.P.; Ospina, Y. [1992-1995]. Informes anuales del proyecto colaborativo CIAT/CIRAD. Centro Internacional Ide Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. [p.v.]

CIAT-Santa Cruz (Centro de Investigación Agrícola Tropical). 1994a. Sacia 3 (Tutuma), nueva variedad de arroz para secano. Plegable de divulgación. CIAT-Santa Cruz y Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) en Bolivia. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 6 p.

CIAT-Santa Cruz (Centro de Investigación Agrícola Tropical). 1994b. Sacia 4 (Jisunu), nueva variedad de arroz para secano. Plegable de divulgación. CIAT-Santa Cruz y Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) en Bolivia. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 6 p.

Cole, M.M. 1986. The savannas biography and geobotany. Academic Press, Londres. 438 p.

Correa-Victoria, F.J.; Zeigler, R.S.; Levy, M. 1994. Virulence characteristics of genetic families of *Pyricularia grisea* in Colombia. In: Zeigler, R.S.; Leong, S.A.; Tang, P.S. Rice blast disease. p. 211-229.

- Guimarães, E.P.; Châtel, M.; Ospina, Y.; Borrero, J. 1995. Upland rice germplasm development strategy of the Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). *International Rice Research Notes* 20(2):14-15.
- Guzmán, R. 1995. Nuevas variedades de arroz de secano en Santa Cruz, Bolivia. In: *Resultados de la Red Internacional para la Evaluación Genética del Arroz (INGER) en América Latina*, presentados en la Reunión del Comité Asesor de INGER-Global, Yangon, Myanmar, noviembre 28-30 de 1994. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 15-19.
- INGER-América Latina. 1991. Cruzamientos de arroz en América Latina. Cuevas, F. (ed.). *Red Internacional para la Evaluación Genética del Arroz y Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*, Cali, Colombia. 230 p.
- INGER-América Latina. 1994. Informes y resultados de los viveros y de las variedades de arroz para América Latina y el Caribe de la Red Internacional para la Evaluación Genética del Arroz (INGER). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 220 p.
- IRRI (International Rice Research Institute). 1988. *Standard evaluation system for rice*. 3a. ed. Los Baños, Filipinas.
- Leal, D.M.; Sarkarung, S.; Sanz, J.I.S.; Aguirre, R.H.V.; Delgado, H.H. 1991. Oryzica Sabana 6, variedad mejorada de arroz para sistemas sostenibles de producción en suelos de sabana. Plegable de divulgación no. 238. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Bogotá, Colombia. 6 p.
- Levy, M.; Correa-Victoria; F.J.; Zeigler, R.S.; Xu, S.; Hamer, J.E. 1993. Genetic diversity of the rice blast fungus in a disease nursery in Colombia. *Phytopathology* 73:645-649.
- Martínez, C.P.; Cuevas, F. 1995. Registro de cruzamientos de arroz: P1 a P5617 y CT5618 y CT13800. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 313 p.
- Rivera, B.C.; Villadiego, G.G.; López, G.N.; Leal, D.M. 1992. Oryzica Turipaná 7, primera variedad mejorada de arroz para siembras de secano a chuzo en Colombia. Plegable de divulgación no. 257. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Bogotá, Colombia. 6 p.
- Sartori, M.T.R.; Barros, L.G. de; Morals, O.P. de; Sant'Ana, E.P. 1995. Progreso, cultivar de arroz de secano para las áreas favorecidas de Mato Grosso. In: *Resultados de la Red Internacional para la Evaluación Genética del Arroz (INGER) en América Latina*, presentados en la Reunión del Comité Asesor de INGER-Global, Yangon, Myanmar, noviembre 28-30 de 1994. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 49-55.