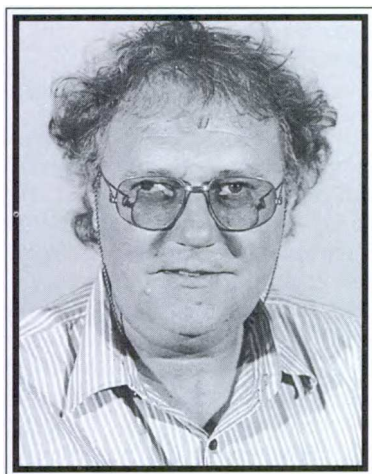


Utilización de Acervos Genéticos y Poblaciones de Arroz de Secano que Segregan para un Gen de Androesterilidad



Marc Chatel

*Marc Chatel¹, Elcio P. Guimarães²,
Yolima Ospina³ y Jaime Borrero³*

¹Investigador del Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Département des cultures annuelles (CIRAD-CA), quien trabaja en el Programa de Arroz del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Apdo. Aéreo 6713, Cali Colombia; ²Investigador del Programa de Arroz del CIAT (actualmente en EMBRAPA-CNPAP, Brasil); ³Asistentes de Investigación del Programa de Arroz del CIAT

Contenido

Introducción

Selección Recurrente para Arroz de Secano

Evaluación del germoplasma introducido

Selección y mantenimiento de los mejores germoplasmas

Selección de plantas fértiles

Mejoramiento poblacional utilizando la selección recurrente

Creación de la nueva población

Sistema de Nomenclatura Propuesto para el Manejo de Poblaciones

Referencias

Introducción

Los fitomejoradores son conscientes de que los métodos de mejoramiento empleados para el desarrollo de nuevas variedades en los diferentes cultivos han sido uno de los factores responsables de la reducción de la variabilidad en los acervos genéticos. Ese efecto tiene como consecuencia el incremento en la vulnerabilidad de los cultivos a problemas bióticos y abióticos (NAS, 1972; Walsh, 1981).

En América Latina y el Caribe, todos los países tienen programas de arroz, y en su mayoría trabajan con mejoramiento. Siete de ellos, que representan el 95% del área sembrada con arroz en la región, tienen programas activos de cruzamientos para generar la variabilidad genética que necesitan para producir nuevas variedades (Cuevas-Pérez et al., 1992).

Sin embargo, cuando se estudia la base genética del arroz de riego en la región, la conclusión es que solamente 14 variedades nativas participan en la constitución génica de todas las variedades lanzadas comercialmente (Cuevas-Pérez et al., 1992). La situación no es diferente para el arroz de secano, el cual está conformado por seis variedades nativas (Guimarães, 1993a). Recientemente se ha incorporado germoplasma africano a esa base genética, y las variedades lanzadas en los últimos años han mostrado un incremento en el rendimiento de granos del orden de 17.3% (Guimarães, 1993b).

Uno de los problemas del cultivo del arroz en América Latina es el relacionado con el techo de rendimiento de las variedades, que a su vez es consecuencia de la estrecha base genética de las mismas (Rangel et al., 1996). En arroz hay por lo menos tres maneras de romper ese límite: cambios en el

tipo de la planta (Khush, 1990), híbridos (Yuan y Virmani, 1986) y utilización de métodos de mejoramiento de poblaciones (Fujimaki, 1979).

Este trabajo presenta datos de la utilización de esa última alternativa en Colombia. El objetivo es crear una amplia base genética mediante el desarrollo de acervos genéticos y poblaciones, mejorarla usando la selección recurrente, y de ahí derivar las líneas mejoradas que serán evaluadas para su lanzamiento como variedades comerciales, por los programas de investigación de América Latina.

La selección recurrente es un método cíclico donde cada ronda contiene tres etapas: a) evaluación de las plantas o líneas derivadas del germoplasma inicial; b) selección de los genotipos favorables, y c) inter cruzamiento de los mejores materiales. Ese proceso proporciona una constante reorganización de los cromosomas y el intercambio de segmentos entre ellos. El resultado final es el continuo incremento en la frecuencia de los genes para los cuales se está practicando la selección, y a la vez mantener la variabilidad genética presente en el germoplasma (Gallais, 1990).

El CIAT y el CIRAD-CA están centrando sus actividades en el desarrollo y mejoramiento de acervos genéticos y poblaciones para los ecosistemas de secano y de riego. El objetivo principal es crear germoplasmas mejorados para algunas características específicas, manteniendo un buen nivel para los demás caracteres de interés agronómico, con el propósito de que los programas nacionales de América Latina puedan derivar sus variedades.

En 1984 se inició un programa de selección recurrente, basado en

el gen de androesterilidad descubierto por Singh e Ikehashi (1981) en la variedad IR36, como parte de un proyecto colaborativo entre el Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (EMBRAPA-CNPAF) y el CIRAD-CA, anteriormente nombrado IRAT (Taillebois, 1984). En ese proyecto se desarrollaron acervos genéticos y poblaciones para varios ecosistemas (japónica tropical para secano, indica tropical para tierras bajas, secano y riego tropical para altitudes y japónica para riego templado), y con diferentes objetivos (calidad de grano, resistencia a piricularia, tolerancia a sequía y potencial de rendimiento) (Chatel y Guimarães, 1993). Sin embargo, autores como Sarkarung (1986) mencionan que para secano el gen de androesterilidad de la variedad IR36 no sería apropiado, y que se deberían buscar otras fuentes en la base genética de secano o japónica.

Algunos de esos acervos genéticos y poblaciones se han utilizado como punto de partida para proyectos de selección recurrente, en varios países de América Latina (Argentina, Brasil y Colombia), Africa (Costa de Marfil y Mali) y Madagascar (ver Chatel y Guimarães, Capítulo 12 de esta publicación).

En 1992, el CIAT escogió e introdujo a Colombia algunos acervos genéticos y poblaciones originarios del Brasil y de la Guyana Francesa. Esos germoplasmas se sometieron a observación y se caracterizaron en diferentes ecosistemas para conocer su potencial como material base para desarrollar proyectos de selección recurrente. El presente trabajo relata la caracterización de los germoplasmas introducidos para el ecosistema de secano; Martínez et al. (Capítulo 11 de esta publicación) informan sobre los resultados

obtenidos con los germoplasmas para el ecosistema de riego.

Selección Recurrente para Arroz de Secano

En 1992 se introdujeron el acervo genético CNA-IRAT 5/0/3 y las poblaciones CNA-IRAT A/0/1, CNA-IRAT P/1/OF e IRAT Lulu/0/1. Esa terminología se basa en la descripción presentada por Chatel y Guimarães (1995). El acervo introducido representa una base genética única, originada en la combinación de varios genotipos mediante cruces manuales o utilizando el gen de androesterilidad. Las poblaciones, por su parte, son el resultado de la aplicación de cualquiera de los métodos de mejoramiento en esa base genética, o de la introducción de nuevos genotipos a esos germoplasmas, pero en proporción menor que el 50%. CNA-IRAT 5/0/3 y CNA-IRAT A/0/1 se originaron en cruzamientos realizados entre materiales del grupo japónica tropical (Cuadros 1 y 2), mientras CNA-IRAT P/1/OF e IRAT Lulu/0/1 resultaron de combinaciones entre indica y japónica tropical (Cuadros 3 y 4).

Dentro de este tema de selección recurrente para arroz de secano se discutirán los siguientes puntos: a) evaluación del potencial de los germoplasmas mencionados para un mejoramiento dirigido a los suelos ácidos; b) mantenimiento de las mejores poblaciones o multiplicación de semillas; c) selección de plantas fértiles para su utilización en el programa rutinario de mejoramiento para suelos ácidos; d) iniciación de un proyecto de mejoramiento poblacional, utilizando la selección recurrente; y e) creación de nuevas poblaciones mediante la incorporación de líneas adaptadas a suelos ácidos.

Cuadro 1. Composición del acervo genético japonico policitoplasmático CNA-IRAT 5.

| Línea | Cruce | Participación (%) |
|-----------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Beira Campo | Cultivar tradicional - Brasil | 5.39 |
| CNA 4097 | IRAT 2/IAC 25 | 5.39 |
| CNA 4145 | IAC 47/Kinandong Patong | 5.39 |
| Cabaçu | Mutante IRAT 79 | 5.39 |
| IREM 41-1-1-4 | Mutante Makouta | 5.39 |
| Palha Murcha | Cultivar tradicional - Brasil | 5.39 |
| TOx 1011-4-2 | IRAT 13/DP689//TOx 490-1 | 5.39 |
| CNA 5171 | IAC 47/IRAT 13 | 2.69 |
| Casca Branca | Cultivar tradicional - Brasil | 0.84 |
| CNA 5179 | IAC 47/IRAT 13 | 0.84 |
| CN 770187 | Cultivar tradicional - Brasil | 0.84 |
| Comum Criolo | Cultivar tradicional - Brasil | 0.84 |
| Jaguari | Cultivar tradicional - Brasil | 0.84 |
| L 13 | Cultivar tradicional - Brasil | 0.84 |
| L 81-24 | IAC 2091/Jaguari//IRAT 10 | 0.84 |
| Santa América | Cultivar tradicional - Brasil | 0.84 |
| Cuiabana ^a | IAC 47/SR2041-50-1 | 8.10 |
| IRAT 237 ^a | IAC 25/RS25 | 6.73 |
| IAC 165 ^a | Dourado Precoce/IAC 1246 | 2.69 |
| IREM 247 ^a | Mutante del IAC 25 | 2.50 |
| IAPAR 9 ^a | Batatais/IAC F3-7 | 1.57 |
| IRAT 112 ^a | Dourado Precoce/IRAT 13 | 1.47 |
| CNA 4135 ^a | IAC 47/IRAT 2 | 1.36 |
| IREM 238 ^a | PJ110/IAC 25 | 1.35 |
| Arroz de Campo ^a | Cultivar tradicional - Brasil | 1.25 |
| Ca ^a | Cultivar tradicional - Africa | 0.84 |
| Palawan ^a | Cultivar tradicional - Asia | 12.50 |
| IR36 ^a | Mutante androestéril | 12.50 |

a. Participan en la mezcla de citoplasma.

Cuadro 2. Composición de la población japónica policitoplasmática CNA-IRAT A, derivada de la CNA-IRAT 5 por la introducción de siete líneas japónicas precoces.

| Línea | Cruce | Participación (%) |
|------------|-------------------------------|-------------------|
| IRAT 104 | IRAT 13/Moroberekan | 6.25 |
| 53/2 | IRAT 2/IAC 25 | 12.50 |
| IRAT 257 | Mutante del Makouta | 6.25 |
| Batatais | Cultivar tradicional - Brasil | 6.25 |
| Batatais 1 | Cultivar tradicional - Brasil | 6.25 |
| IRAT 199 | Cuttack 4/IRAT 104 | 6.25 |
| Ligeiro | Cultivar tradicional - Brasil | 6.25 |
| CNA-IRAT 5 | Acervo genético | 50.00 |

Cuadro 3. Composición de la población indica/japónica CNA-IRAT P, derivada de la CNA-IRAT 5 por la introducción de 14 líneas indicas.

| Línea | Cruce | Participación (%) |
|----------------|----------------------------|-------------------|
| CNA 3762 | 4440/CICA 7//CICA 4 | 3.75 |
| CNA 5193 | - | 3.75 |
| IR13540-56-3-2 | - | 3.75 |
| CNA 4993 | 5685//3250/IRAT 8 | 3.75 |
| Dawn | Century Patna 231/HO12-1-1 | 3.75 |
| IAC 120 | Iguape Agulha/Nira | 3.75 |
| BR-IRGA 409 | IR930-2/IR665-31-2-4 | 3.75 |
| IET 4094 | - | 3.75 |
| Metica 1 | P 738/P 881//P 738/P 868 | 3.75 |
| CNA 4899 | Sigadis/TN1//IR24 | 3.75 |
| CNA 4988 | 5854//3224/Costa Rica | 3.75 |
| CNA 4223 | IR841/4440//IR36/CICA 7 | 3.75 |
| CNA 3942 | IR36/CICA 9//CICA 7 | 3.75 |
| Ciwini | - | 3.75 |
| CNA-IRAT 5 | Acervo genético | 50.00 |

Cuadro 4. Composición de la población indica/japónica IRAT Lulu, derivada de la CNA-IRAT P por la introducción de ocho líneas indicas, cinco japónicas de secano y cuatro aromáticas.

| Línea | Tipo | Participación (%) |
|-------------------|-----------------|-------------------|
| BR-IRGA 410 | Indica | 2.94 |
| BR-IRGA 412 | Indica | 2.94 |
| CICA 8 | Indica | 2.94 |
| ICA 10 | Indica | 2.94 |
| CT6196-33-11-1-1 | Japónica | 2.94 |
| CT6241-1-19-2-5-2 | Japónica | 2.94 |
| Khao Dawk Mali | Aromática | 2.94 |
| Khao Dawk Mali 1 | Aromática | 2.94 |
| Hom Mali | Aromática | 2.94 |
| Hom Mali 1 | Aromática | 2.94 |
| Metica 1 | Indica | 2.94 |
| IRAT 216 | Japónica | 2.94 |
| Diwani | Indica | 2.94 |
| Ciwini | Indica | 2.94 |
| Mana 1 | Indica | 2.94 |
| CT8396-4-1 | Japónica | 2.94 |
| CNAx 2971-B-2 | Japónica | 2.94 |
| CNA-IRAT 5 | Acervo genético | 25.00 |
| CNA-IRAT P | Población | 25.00 |

Evaluación del germoplasma introducido

Los germoplasmas introducidos se evaluaron y se caracterizaron en 1993, en la Estación Experimental La Libertad (EELL), ubicada 25 km al este de Villavicencio, Colombia (333 m de altitud, a 4° de latitud norte y 73° de longitud oeste).

Se sembraron 2000 semillas de cada germoplasma. Las distancias fueron de 0.5 m entre plantas dentro de los surcos y de 0.3 m entre los surcos. De esa manera, cada planta quedó aislada (una planta por sitio). Ese diseño facilitó la identificación de plantas fértiles y estériles.

Para asegurar el cruzamiento natural de las plantas androestériles con plantas fértiles de diferentes ciclos y mantener la variabilidad genética se hicieron dos siembras de 1000 plantas cada una, espaciadas 10 días. Para evitar la contaminación con polen de plantas de arroz no pertenecientes a los germoplasmas bajo evaluación, alrededor de cada lote se sembraron varias hileras de maíz con alta densidad.

Cada germoplasma fue caracterizado utilizando una muestra de 400 plantas: Los parámetros evaluados fueron: a) vigor a los 45 días de la siembra (dds), b) número de macollas a los 45 dds, c) reacción a la acidez a los 60 dds, d) número de días a la floración, e) número de plantas fértiles y estériles en el momento de la floración, f) porcentaje de producción de semillas en las plantas androestériles, g) reacción a la picularia en el cuello de la panícula, y h) altura de plantas a la cosecha.

Vigor inicial. El Cuadro 5 presenta un resumen de la información obtenida para todas las variables. Se observa que las poblaciones CNA-IRAT P e IRAT Lulu fueron las que presentaron un mayor número de plantas (50.7% y 38.4%, respectivamente), con un grado de vigor igual o inferior a 3. (En la escala de 1 a 9, el grado 1 indica excelente vigor y el 9 muy bajo.) Estas dos poblaciones se originaron de cruzamientos entre los grupos indica y japónica.

El buen vigor que presentó la IRAT Lulu se puede atribuir a que posee 25% de la población CNA-IRAT P, la más vigorosa de las cuatro. Sin embargo, se observa una diferencia entre las dos poblaciones, la cual se puede explicar porque en la composición de la IRAT Lulu participaron cuatro líneas aromáticas, que aportaron alrededor de 12% de los genes, y que son materiales conocidos por su bajo vigor en condiciones de secano.

Número de macollas. La distribución de las plantas según su habilidad para macollar se muestra en el Cuadro 5. Los rangos de cada clase se escogieron de manera arbitraria; el objetivo fue diferenciar entre aquellas de interés para el ecosistema de secano (con menos de 16 macollas) y aquellas más útiles en sistemas de riego (con más de 16 macollas). El

acervo genético CNA-IRAT 5 y la población CNA-IRAT A poseen más del 74% de sus plantas en las dos primeras clases (≤ 16). La situación contraria se observó para las poblaciones CNA-IRAT P e IRAT Lulu, las cuales tienen más del 72% en las dos últimas clases (≥ 17).

Esos resultados se pueden explicar sobre la base de la composición genética de cada germoplasma. Los dos primeros se desarrollaron utilizando material japonico tropical, que en general presentan bajo macollamiento. Las poblaciones CNA-IRAT P e IRAT Lulu son híbridos indica/japónica y probablemente están expresando la heterosis existente entre los dos grupos.

Reacción a la acidez. La población IRAT Lulu es aquella que posee el mayor número de plantas en la clase susceptible (grado ≥ 5); los demás germoplasmas tuvieron un comportamiento similar (Cuadro 5). Sin embargo, el acervo genético CNA-IRAT 5 fue el que tuvo más plantas con el grado 1; 31.5% de plantas no presentaron síntomas de susceptibilidad a la acidez.

Esos resultados son consecuencia de la base genética de los germoplasmas. CNA-IRAT 5 posee 75% de sus genes de las líneas japónicas tropicales (secano) adaptadas a los suelos con niveles de acidez más elevados que los de riego. IRAT Lulu, por el contrario, es la que menos participación de líneas japónicas tropicales tiene en su constitución genética (alrededor de un 35%).

Número de días a la floración. Las evaluaciones para floración están basadas en datos de plantas individuales. En el Cuadro 5, tales evaluaciones se presentan según cuatro clases o rangos, los cuales fueron escogidos buscando una

Cuadro 5. Porcentaje de plantas observadas en cada clase, para las características evaluadas en el acervo genético CNA-IRAT 5 y las poblaciones CNA-IRAT A y P, e IRAT Lulu. Estación Experimental La Libertad, 1993A.

| Característica ^a | CNA-IRAT | | | IRAT Lulu |
|--|----------|------|------|-----------|
| | 5 | A | P | |
| Vigor inicial (1 a 9) | | | | |
| 1 a 3 | 33.6 | 28.2 | 50.7 | 38.4 |
| 5 | 49.9 | 65.1 | 32.6 | 47.9 |
| 7 a 9 | 16.5 | 6.7 | 16.6 | 13.8 |
| Macollas (no.) | | | | |
| < 8 | 25.9 | 24.9 | 6.1 | 5.3 |
| 9 a 16 | 52.7 | 49.5 | 11.7 | 0.9 |
| 17 a 28 | 20.0 | 24.9 | 51.9 | 42.7 |
| > 28 | 1.3 | 0.8 | 30.3 | 52.6 |
| Reacción a la acidez (1 a 9) | | | | |
| 1 a 3 | 85.1 | 85.6 | 82.3 | 66.3 |
| 5 a 9 | 14.9 | 14.4 | 17.7 | 33.7 |
| Floración (días) | | | | |
| < 74 | 30.7 | 38.6 | 8.7 | 1.8 |
| 75 a 84 | 14.2 | 41.5 | 13.8 | 5.7 |
| 85 a 94 | 38.6 | 8.6 | 34.9 | 32.6 |
| > 94 | 16.3 | 11.3 | 42.6 | 60.9 |
| Reacción a piricularia en el cuello (0 a 9) | | | | |
| 1 a 5 | 93.2 | 96.3 | 89.2 | 47.9 |
| 6 a 9 | 6.8 | 3.7 | 10.8 | 52.1 |
| Altura de plantas (cm) | | | | |
| < 64 | 28.0 | 20.7 | 40.9 | 50.3 |
| 65 a 74 | 26.1 | 33.7 | 23.2 | 16.7 |
| 75 a 84 | 23.9 | 29.8 | 25.6 | 17.2 |
| > 84 | 21.8 | 15.2 | 10.2 | 15.8 |

a. Las escalas están basadas en el Sistema de Evaluación Estándar para Arroz, propuesto por el IRRI (1988).

distinción que estuviera relacionada con los objetivos del proyecto. En la primera clase (< 74 días) están los materiales considerados muy precoces; entre 75 y 84 días están los precoces; de 85 hasta 94 están los de ciclo intermedio, y por encima de los 94 días están los tardíos. La sección de Mejoramiento de Secano para Suelos Ácidos del CIAT tiene como prioridad la identificación de genotipos que estén en las dos primeras clases.

El germoplasma que presentó más plantas muy precoces fue el CNA-IRAT A, seguido del CNA-IRAT 5 (Cuadro 5). Para CNA-IRAT P e IRAT Lulu la clase de mayor concentración de plantas fue la más tardía, dado que la última población

tuvo más de 60% de sus plantas en esa clase, o sea, materiales de bajo interés para los objetivos del mejoramiento para secano en suelos ácidos.

En el Cuadro 2 se muestra la composición de la población CNA-IRAT A. Su origen es la introducción de siete líneas japónicas precoces en el acervo genético CNA-IRAT 5; eso explica por qué éste fue el germoplasma con mayor número de plantas precoces entre los cuatro estudiados. A su vez, la introducción de líneas aromáticas e índicas de ciclo más largo en el acervo genético y en la población CNA-IRAT P (Cuadro 4) hizo que las plantas de la población IRAT Lulu segregaran más para materiales de ciclo largo.

Reacción a la piricularia en el cuello. Las muestras de plantas en cada germoplasma se evaluaron utilizando el Sistema de Evaluación Estándar para Arroz propuesto por el IRRI (1988). Este sistema usa una escala de 0 hasta 9, donde el Grado 0 significa ausencia de sintoma y el 9 panículas con más de 50% de espiguillas estériles. Los datos se presentan en el Cuadro 5 considerando dos clases: resistentes (grados 1 a 5) y susceptibles (grados 6 a 9).

Todos los germoplasmas presentaron más del 89% de plantas resistentes a piricularia en el cuello de la panícula, excepto la población indica/japónica IRAT Lulu que presentó un gran número de plantas susceptibles (52.1%). Esa reacción de susceptibilidad se puede atribuir al material involucrado en la creación de la población; las líneas aromáticas y las indicas son altamente susceptibles bajo condiciones de secano en suelos ácidos.

La CNA-IRAT P, también indica/japónica, posee por lo menos 50% del germoplasma adaptado a secano en suelos ácidos y algunas fuentes de resistencia a la enfermedad como Dawn y Ciwini. Por esa razón tuvo un mejor comportamiento.

Altura de planta. Se escogieron cuatro clases arbitrarias para clasificar las plantas en cuanto a sus alturas. En las dos primeras están las plantas enanas, tipo riego, y en las dos últimas los tipos más deseables para el sistema de secano. Las poblaciones indica/japónica concentraron sus plantas en la clase de menor altura (< 64 cm), 50.3% para la IRAT Lulu y 40.9% para la CNA-IRAT P (Cuadro 5). Eso se debe a la introducción de las líneas indicas semienanas en el acervo genético CNA-IRAT 5.

Relación plantas fértiles y estériles. Desde el momento en que floreció la primera planta en la población más precoz, todas las plantas se examinaron dos veces por semana, y se marcaron como fértiles o androestériles. Esa información permitió calcular la relación entre los dos grupos y estimar la tasa de segregación del gen 'ms' de androesterilidad.

Los resultados mostraron la población IRAT Lulu con 38.2% de plantas androestériles, seguida del acervo genético CNA-IRAT 5 con 35.2%, y de las poblaciones CNA-IRAT A con 23.7% y CNA-IRAT P con 19.5%. Analizando la composición de cada uno de esos germoplasmas, la tasa esperada debería ser de 50% para los tres primeros y 25% para el último, ya que las semillas de los primeros fueron cosechadas en plantas androestériles (genotipos Msms) y solamente en el último se realizó la cosecha en plantas fértiles (que segregan MsMs y Msms). Esa distorsión entre la tasa esperada y la observada parece ser un fenómeno común en esos tipos de germoplasmas, y es causada por una selección contra el gameto con el gen 'ms' (Taillebois, 1986).

Producción de semillas en plantas androestériles. Como se mencionó anteriormente, la relación entre el número de plantas androestériles y fértiles en un germoplasma depende del origen de las semillas cosechadas. La producción de semillas de germoplasmas que segregan para el gen de androesterilidad se hace mediante la siembra de esos materiales y la cosecha en plantas fértiles o androestériles, dependiendo del objetivo de cada fitomejorador. Sin embargo, no se deben mezclar semillas cosechadas en los dos tipos de plantas.

Para los germoplasmas en estudio, las semillas se cosecharon en las plantas androestériles. De manera arbitraria, se consideraron dos clases de plantas para la producción de semillas: la baja, hasta con 10 semillas por planta y la ideal, con más de 10. En las poblaciones trabajadas se observó que, en promedio, 47.6% de las plantas androestériles produjeron hasta 10 semillas. Para la composición de las nuevas poblaciones, la cantidad de semillas producida por cada planta es importante, toda vez que dicha población está representada por una mezcla de igual cantidad de semillas de todas las plantas.

Selección y mantenimiento de los mejores germoplasmas

Sobre la base de los resultados descritos, se escogieron los germoplasmas CNA-IRAT 5, CNA-IRAT A y CNA-IRAT P para utilizarlos en un proyecto de mejoramiento poblacional por medio de la selección recurrente, en el CIAT. La población IRAT Lulu se descartó por ser la más susceptible a la pircularia en el cuello de la panícula y a la acidez del suelo, por su segregación para plantas de ciclo largo, y por su elevado número de macollas y la baja altura de las plantas.

La población CNA-IRAT A se consideró la mejor por su precocidad y su reacción a la pircularia en el cuello de la panícula y a la acidez del suelo. Por esas razones se utilizará como fuente de androesterilidad para la creación de una nueva población mediante la introducción de líneas adaptadas a las condiciones de suelos ácidos de Colombia (esa actividad se discute más adelante, en este capítulo).

La conservación y la consecuente multiplicación de semillas de los germoplasmas que segregan para un gen de androesterilidad se basa en la cosecha de las plantas fértiles o androestériles. En el campo hay la necesidad de identificar los dos tipos de plantas durante la floración. Las semillas producidas en las fértiles van a segregarse para los genotipos 'MsMs' y 'Msms', en una proporción que va a depender del origen del material sembrado. En este caso no hay problemas en relación con el número de semillas producidas, ya que las plantas fértiles generan gran cantidad. El resultado final proviene de la mezcla, en igual proporción, de todas las semillas de las plantas cosechadas.

Por el contrario, la cosecha en plantas androestériles solamente produce el genotipo 'Msms'. Como la producción de semillas de esas plantas depende de la polinización por las plantas fértiles que estén alrededor, la cantidad de semillas es pequeña y puede traer problemas relacionados con el tamaño de la muestra (porque el germoplasma original no está representado en ella; ver Morais, Capítulo 3 de esta publicación). La mezcla balanceada de las semillas (igual cantidad por planta) es más importante en este caso que en el anterior.

Cabe resaltar que, cada vez que se utilizan las plantas androestériles como fuente de semillas, se está imponiendo al germoplasma una nueva ronda de recombinación, pues siempre habrá cruzamientos entre plantas estériles y fértiles.

Selección de plantas fértiles

El principio básico del mejoramiento poblacional es que se incrementan las posibilidades de obtener los genotipos deseados en la

medida en que se repiten las etapas de evaluación, selección y recombinación. En cada ciclo de recurrencia se extraen líneas mejoradas que pasan a participar en el programa de desarrollo de material fijo para la producción de variedades.

Los tres germoplasmas escogidos se han sometido a selección bajo las condiciones de suelos ácidos desde su primera evaluación en 1993, y de ellos se extrajeron líneas en todos los ciclos de recurrencia. Por ejemplo, en el acervo genético CNA-IRAT 5/0/3, en su primer año de siembra, se seleccionaron 76 plantas fértiles; en la segunda siembra, después de un ciclo de selección (CNA-IRAT 5\SA\0\3) se escogieron 59 plantas fértiles después del segundo ciclo (CNA-IRAT 5\SA\1\3,SA\0) se obtuvieron 31 plantas fértiles. El proceso para los demás germoplasmas se resume en el Cuadro 6.

Los criterios utilizados para la selección de las plantas fértiles fueron los mismos empleados para el desarrollo de líneas mejoradas para la producción de variedades comerciales, o sea, buen vigor inicial, tolerancia a suelos ácidos, precocidad y resistencia a piricularia.

Como se observa en el Cuadro 6, la población índica/japónica CNA-IRAT P ha presentado bajo potencial. Después de dos ciclos de selección recurrente, muy pocas plantas de interés fueron seleccionadas, debido principalmente a que aún presenta susceptibilidad a la piricularia.

Las generaciones se han avanzado utilizando dos cultivos al año: en la época normal de siembra (semestre A), cuando se consideran para la selección todas las características mencionadas anteriormente, y en la época fuera del período de siembra (semestre B),

Cuadro 6. Número de plantas evaluadas en los germoplasmas CNA-IRAT 5, CNA-IRAT A y CNA-IRAT P en los ciclos 0, 1 y 2 de selección recurrente, y número de materiales F₂, F₃ y F₄ obtenidos para el desarrollo de líneas fijas mediante la selección.

| Año/semestre | CNA-IRAT 5 | | |
|--------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | /0/3 | \SA\0\3 | \SA\1\3,SA\0 |
| 1993A | 2000 | - | - |
| 1993B | 76 F ₂ | 1048 | - |
| 1994A | 23 F ₃ | 59 F ₂ | 1000 |
| 1994B | 4 F ₄ | 25 F ₃ | 31 F ₂ |
| CNA-IRAT A | | | |
| | /0/1 | \SA\0\1 | \SA\1\1,SA\0 |
| 1993A | 2000 | - | - |
| 1993B | 111 F ₂ | 1048 | - |
| 1994A | 31 F ₃ | 82 F ₂ | 1000 |
| 1994B | 15 F ₄ | 13 F ₃ | 167 F ₂ |
| CNA-IRAT P | | | |
| | /1/0F | \SA\0\0F | \SA\1\0F,SA\0 |
| 1993A | 2000 | - | - |
| 1993B | 16 F ₂ | 500 | - |
| 1994A | 12 F ₃ | 7 F ₂ | 1000 |
| 1994B | - | - | 31 F ₂ |

cuando solamente se trabaja con las características de alta heredabilidad. Para el año 1995 están disponibles de todos los germoplasmas 19 F₄, 38 F₃ y 229 F₂. Esos materiales seguirán siendo desarrollados por el proceso de pedigrí en el proyecto de mejoramiento para suelos ácidos.

Mejoramiento poblacional utilizando la selección recurrente

Como se describió con anterioridad, el mejoramiento poblacional está basado en la selección de los mejores individuos y su recombinación para formar la nueva población. La eficiencia del proceso va a depender de la capacidad del fitomejorador para identificar aquellos fenotipos que contienen los genotipos de interés.

Como esos germoplasmas introducidos aún están en una etapa inicial de mejoramiento, la alternativa escogida fue la selección masal sin evaluación de las progenies, o sea, la selección de plantas individuales. Para utilizar esa estrategia, la selección y la recombinación se hacen en la misma generación. Se escogen las plantas androestériles que estén dentro de los criterios de selección utilizados para el mejoramiento, y las semillas se cosechan y se mezclan en igual proporción para conformar la población del próximo ciclo.

Una de las ventajas de esa estrategia es que un ciclo de selección se completa en solamente una generación de cultivo. Sin embargo, la eficiencia para características de baja heredabilidad es reducida y, además, las plantas androestériles seleccionadas reciben una muestra de polen de todas las plantas fértiles, o sea, de plantas seleccionadas y no seleccionadas.

Esa estrategia se empleó solamente para los germoplasmas que presentaron una mejor adaptación a las condiciones locales (el acervo genético CNA-IRAT 5 y la población CNA-IRAT A). Los principales criterios de selección utilizados fueron: tolerancia a suelos ácidos, precocidad y resistencia a piricularia.

En 1993A (semestre A), primer año de siembra de los materiales, se escogieron 39 plantas androestériles en el acervo genético CNA-IRAT 5, y en la población CNA-IRAT A se cosecharon 60 plantas. La mezcla de esas semillas en cantidades iguales representó el primer ciclo de selección con cero recombinaciones. Siguiendo la nomenclatura propuesta para el manejo de poblaciones que segregan para un gen de androesterilidad en arroz (Chatel y Guimarães, 1995), el CNA-IRAT 5/0/3 pasó a ser nombrado CNA-IRAT 5\SA\0\3 y la CNA-IRAT A/0/1 pasó a CNA-IRAT A\SA\0\1. Similar procedimiento se utilizó en 1994A y 1994B; por lo tanto, para la siembra de 1995A, esos dos germoplasmas tendrán tres ciclos de selección recurrente.

Creación de la nueva población

La población CNA-IRAT A fue la que mejor comportamiento general presentó entre los cuatro germoplasmas introducidos; por lo tanto, fue la escogida como base y fuente del gen de androesterilidad para la introducción de líneas mejoradas identificadas por la Sección de Mejoramiento para los Suelos Ácidos. Se escogieron ocho líneas, seis de ellas originadas en la mencionada sección, del CIAT, una introducida del International Rice Research Institute (IRRI) y una del Brasil. La caracterización de esos materiales se presenta en el Cuadro 7. En general son precoces, de altura de

intermedia a baja y resistentes a las principales enfermedades.

El proceso de introducción se realizó utilizando la técnica de los bloques de cruzamientos (ver Borrero et al., Capítulo 5 de esta publicación). El polen de cada línea se combinó con cuatro plantas androestériles de la población, por lo menos, y las semillas cosechadas en esas plantas se mezclaron en igual proporción para que constituyeran las ocho F₁. Cada híbrido se sembró y evaluó individualmente en condiciones de riego, en la Estación Experimental del CIAT en Palmira.

La combinación con la línea CT11608-9-2-1-2-M produjo individuos F₁ con elevado grado de esterilidad; por esa razón fue descartada. Para formar la nueva población se escogieron las mejores plantas dentro de cada combinación, y sus semillas se mezclaron en igual proporción. Las semillas F₂ de las siete combinaciones se mezclaron de manera tal que resultaran las proporciones presentadas en el Cuadro 8. Como el cruce CT11231 tuvo tres líneas hermanas se decidió mezclar dos de ellas en menor proporción. Esa nueva población fue nombrada PCT-4\0\0\0.

Cuadro 7. Características de las ocho líneas evaluadas para la composición de la población PCT-4\0\0\0.

| Línea | Característica ^a | | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------------|----|----|-----|----|-----|----|----|----|
| | Vg | BI | BS | LSc | Fl | NBI | Gd | Ht | AC |
| CT6196-33-11-1-3-M | 5 | 5 | 1 | 3 | 91 | 1 | 3 | 60 | 1 |
| CT11231-2-2-1-4-M | 7 | 3 | 1 | 1 | 78 | 1 | 1 | 52 | 1 |
| CT11231-2-2-3-1-M | 5 | 3 | 1 | 1 | 78 | 1 | 1 | 57 | 1 |
| CT11231-2-2-2-1-2-M | 5 | 3 | 1 | 1 | 78 | 1 | 1 | 50 | 1 |
| CT11608-8-6-M-2-M | 3 | 1 | 1 | 3 | 78 | 1 | 1 | 78 | 3 |
| CT11608-9-2-1-2-M | 3 | 1 | 1 | 3 | 79 | 3 | 1 | 60 | 1 |
| IR53167-3-M | 5 | 3 | 5 | 1 | 69 | 1 | 1 | 59 | 3 |
| A 8-394-M | 3 | 3 | | 1 | 65 | 3 | 1 | 60 | 3 |

a. Evaluaciones propuestas en el Sistema de Evaluación Estándar para Arroz (IRRI, 1988). Vg = vigor; BI = pircularia en las hojas; BS = helmintosporiosis; LSc = escaldado de las hojas; Fl = floración; NBI = pircularia en el cuello de la panícula; Gd = manchado de grano; Ht = altura de planta; AC = acidez del suelo.

Cuadro 8. Composición genética de la población PCT-4\0\0\0.

| Línea | Cruce | Participación (%) |
|---------------------|---|-------------------|
| CT6196-33-11-1-3-M | Colombia 1/IRAT216//RHS 107-2-1-2TB-1JM | 8.33 |
| CT11231-2-2-1-4-M | CT6947-7-1-2/CT6196-33-11-1-3-M//CT7232-5-3-7-6P-2-M | 4.17 |
| CT11231-2-2-3-1-M | CT6947-7-1-2/CT6196-33-11-1-3-M//CT7232-5-3-7-6P-2-M | 4.17 |
| CT11231-2-2-2-1-2-M | CT6947-7-1-2/CT6196-33-11-1-3-M//CT7232-5-3-7-6P-2-M | 8.33 |
| CT11608-8-6-M-2-M | CT7244-9-2-1-52-1/CT6261-5-7-2P-5-1P//P 5589-1-1-3P-4-M | 8.33 |
| IR53167-3-M | IR31363-1-1-3-3-3-2/Mahsuri | 8.33 |
| A 8-394-M | - | 8.33 |
| CNA-IRAT A | Población | 50.00 |

Sistema de Nomenclatura Propuesto para el Manejo de Poblaciones

¿Por qué una nomenclatura patrón? La respuesta a esa pregunta es clave para empezar esta sección. La razón es que una nomenclatura patrón facilita la comunicación entre los usuarios de las poblaciones, permite hacer el intercambio de germoplasmas para fines de mejoramiento poblacional de manera más dirigida, y disminuye la necesidad de consultar al creador de cada germoplasma para saber cuál es el estado actual de desarrollo de un material; una simple consulta al catálogo de germoplasma soluciona todas las dudas.

En este capítulo se han usado dos sistemas de nomenclatura para identificar los germoplasmas. El primer sistema fue propuesto por Taillebois (1985) y el segundo por Chatel y Guimarães (1995), como resultado de la recomendación del Primer Taller Internacional de los Fitomejoradores de Arroz de Secano (CIRAD-CA, 1993).

En el primer sistema, las letras iniciales representan las instituciones involucradas en el desarrollo del germoplasma, por ejemplo: CNA-IRAT es el resultado del trabajo cooperativo entre EMBRAPA-CNPAP y el CIRAD-CA, anteriormente nombrado IRAT. El primer número o letra es un consecutivo que maneja el fitomejorador encargado del desarrollo del germoplasma, y puede no tener ningún significado para otros fitomejoradores que trabajen el mismo material. La barra inclinada sirve para identificar el número de generaciones de selección y de recombinación al cual se sometió el material. Por ejemplo: CNA-IRAT 5/0/3 indica que el germoplasma no fue sometido a generaciones de

selección (CNA-IRAT 5/0), pero fue recombinado tres veces (CNA-IRAT 5/0/3).

La segunda nomenclatura es la que se espera sea empleada por los fitomejoradores que trabajen con mejoramiento poblacional, pues sigue una propuesta revisada y aprobada por la comunidad internacional. Inicialmente no se pretendió cambiar los nombres de los germoplasmas ya conocidos y utilizados por la mayoría de las instituciones; de esa manera, las letras iniciales siguen como están.

Chatel y Guimarães (1995) presentan una descripción de los criterios utilizados para la creación de las normas de nomenclatura y su empleo. La propuesta sugiere cambios en la descripción presentada, el primero de los cuales es la utilización del 'slash' invertido (\), con el objetivo de evitar confusiones con el símbolo de cruzamiento (/).

Para describir esta nueva propuesta se utilizará un ejemplo mencionado en el Cuadro 6. La población CNA-IRAT 5\SA\1\3,SA\0 indica que el acervo genético CNA-IRAT 5/0/3, con tres recombinaciones, fue sometido a selección para suelos ácidos y después recombinado una vez CNA-IRAT 5\SA\1\3. Después de esa recombinación fue seleccionado una vez más para suelos ácidos y aún no ha sufrido recombinación CNA-IRAT 5\SA\1\3,SA\0.

La población creada fue nombrada PCT-5\0\0\0, lo cual significa que es una población (P) desarrollada por el CIAT (CT) y que fue la quinta (5) registrada en el catálogo de poblaciones y acervos genéticos. Esa población aún no ha sido sometida a ningún ciclo de selección (PCT-5\0), ninguna recombinación después de la selección (PCT-5\0\0) y tampoco ninguna recombinación antes de la selección (PCT-5\0\0\0).

Referencias

- CIRAD-CA (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Département des cultures annuelles). 1993. International Upland Rice Breeders Workshop, Montpellier, Francia, septiembre 6 a 10. Recomendaciones. p. 66.
- Chatel, M. y Guimarães, E. P. 1993. Review of the present status and proposals of rice germplasm enhancement for Latin America and the Caribbean, using recurrent selection. En: International Upland Rice Breeders Workshop, Montpellier, Francia, septiembre 6 a 10. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Département des cultures annuelles (CIRAD-CA).
- _____ y _____. 1995. Selección recurrente con androesterilidad en arroz. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Département des cultures annuelles (CIRAD-CA) y Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 70 p.
- Cuevas-Pérez, F.; Guimarães, E. P.; Berrío, L. E.; y González, D. I. 1992. Genetic base of irrigated rice in Latin America and the Caribbean, 1971 to 1989. *Crop Sci.* 32:1054-1059.
- Fujimaki, H. 1979. Recurrent selection by using male sterility for rice improvement. *Jpn. Agric. Res. Qua.* 13:153-156.
- Gallais, A. 1990. Théorie de la sélection en amélioration des plantes. Masson, México. 588 p.
- Guimarães, E. P. 1993a. Genealogy of Brazilian upland rice varieties. *Int. Rice Res. Notes* 18(1):6.
- _____. 1993b. Brazilian upland rice breeding network: Varietal release, time span, and yield increase. *Int. Rice Res. Notes* 18(4):20-21.
- IRRI (International Rice Research Institute). 1988. Standard evaluation system for rice. 3 ed. Los Baños, Filipinas. p. 54.
- Khush, G. S. 1990. Varietal needs for different environments and breeding strategies. En: Muralidharan, K. y Siddiq, E. A. (eds.). *New frontiers in rice research*. Directorate of Rice Research, Hyderabad, India. p. 68-75.
- NAS (National Academy of Sciences), Committee on Genetic Vulnerability of Major Crops. 1972. *Genetic vulnerability of major crops*. Washington, DC.
- Rangel, P. H. N.; Guimarães, E. P.; y Neves, P. C. F. 1996. Base genética das cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado do Brasil. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 31(5):349-357.
- Sarkarung, S. 1986. Screening upland rice for aluminium tolerance and blast resistance. En: *Progress in upland rice research*. Memorias de la conferencia de Jakarta, 1985. p. 271-281.
- Singh, R. J. e Ikehashi, H. 1981. Monogenic male-sterility in rice: Introduction, identification, and inheritance. *Crop Sci.* 21:286-289.
- Taillebois, J. 1984. Rapport de campagne. Projet Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão/Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières (CNPAP/IRAT). 38 p.
- _____. 1985. Rapport annuel projet sélection récurrente CNPAF-EMBRAPA et IRAT. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), Goiânia, Brasil. 10 p.
- _____. 1986. Rapport annuel projet sélection récurrente CNPAF/EMBRAPA et IRAT. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), Goiânia, Brasil. 50 p.
- Walsh, J. 1981. Genetic vulnerability down on the farm. *Science* (Washington, DC) 214:161-164.
- Yuan, L. P. y Virmani, S. S. 1986. Status of hybrid rice research and development. En: *Hybrid rice. Proceedings of the International Symposium on Hybrid Rice*, Changsha, Hunan, China, octubre 6 a 10, 1986.